ـ فهرس معالجة المياه ـ

الموضوع	الصفحة
الفصل الأول : الموارد الصناعية والبلدية للماء	**3**
الموارد الصناعية والبلدية للماء	3
الموارد المائية الخاصة	4
اختبار عينات المصادر المائية الخاصة	5
أخذ العينات من أجل التحليل المعدني الكامل	6
عينات لقياسات الغازات المنحلة	7
عينات الاختبارات الجرثومية	8
المـوارد البلديـة للمـاء	9
الموارد البلدية المائية غير المعالجة	9
معالجة الموارد المائية البلدية	10
تليين (تطرية) الموارد المائية البلدية	11
معالجة الإمدادات المائية البلدية بمركبات الفلور	12
تحليل الإمدادات البلدية من الماء	12
الجدول1 ـ 1كمية الكالسيوم يعبر عنها بـ 28 طريقة مختلفة	13
وحدات تحليل الماء	14
الجدول 1 ـ 2 وحدات تحليل الماء:علاقات متبادلة ومكافئات	15
التعبير عن تحاليل الماء كمكافئات كربونات الكالسيوم	17
الجدول 1 – 3 استمارة تحاليل المياه	18
التعبير عن تحاليل الماء كمكافئ في المليون أو ميلي مكافئات في اللتر	19
عسر (قساوة) الماء : طرق التعبير	19
طرق قياسية لتحليل المياه	20
تحاليل الماء وخواصها من مختلف المصادر :	21
ـ المياه الجوية (مطر ، ثلج ، قطقط ، بَرَد)	21
ـ مياه الخزانات	22
ـ المياه السطحية والمياه الجوفية	23
ـ المياه السطحية : الجداول والأنهار	26
جدول 4 ـ 1 يبين متوسط الحدود الدنيا والعليا لمعظم الأنهار	27

ـ المياه السطحية : البحيرات والبرك والسدود السطحية	27
ـ المياه الجوفية : الينابيع 28 ـ الآبار 29 ـ الآبار الارتوازية 31 ـ مياه المناجم 32 ـ المياه المعدنية 32 ـ المياه الحبيسة 33 ـ مياه حقول الزيت المالحة 33	28 - 33
ـ مياه البحر	33
الجدول 5 ـ 1 النسب النسبية للمقومات الرئيسية لمياه البحر	34
تلوث الأنهار بمياه البحر	35
تلوث مياه الآبار بمياه البحر	36
الجدول 6 ـ 1 تحاليل بئرين متجاورين تظهر تلوث مياه البئر الأعمق .	37
الجدول 7 ـ 1 . ارتفاع محتوى الكلور في مياه بئر ملوثة بمياه البحر	38
الفصل الثاني : المواد المعدنية المنحلة	**39- 76**
المواد المعدنية المنحلة :	39
بيكربونات الكالسيوم	39
بيكربونات المغنيزيوم	40
بيكربونات الصوديوم	41
كبريتات الكلسيوم	41
كبريتات المغنيزيوم	42
كبريتات الصوديوم	42
كلور الكلسيوم	42
كلور المغنيزيوم	43
كلور الصوديوم	43
معادن أخرى : السليكا ـ الحديد ـ المنغنيز ـ النترات ـ النيتريتات ـ الأمونيا ـ البوتاسيوم ـ الفلوريدات ـ البورات ـ الألومينا ـ الكربونات القلوية ـ القلوية الكاوية ـ اليود	44
الجدول 1 ـ 2 المقومات المعدنية المقاسة في تحاليل الماء	45
الصورة 1 ـ 2 الينابيع الفضية في فلوريدا	47
القلوية : البيكربونات ، والكربونات ، والمادة الكاوية	47
الصورة 2ـ 2 كهوف الحجر الكلسي	48
العُسرة : الكلسيوم والمغنزيوم	49

ترسبات (قشرة) كربونات الكلسيوم	50
الجدول 2 ـــ 2 ذوبانية كربونات الكلسيوم والمغنزيوم والصوديوم بدرجة 212 ^{O} ف	51
قشرة كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنيزيوم	52
الجدول 3 ـــ 2 ذوبانية هيدروكسيد الكلسيوم والمغنزيوم والصوديوم بدرجة 212 ^{O} ف	53
قشرة كبريتات الكلسيوم	53
الجدول 4 ـ 2 ذوبانية كبريتات الكلسيوم عند 32 ـ 428 ^{O} ف	54
التوصيل الحراري للقشور	54
الصورة 3 ـ 2 أنابيب ومعدات للماء الحار مكسوة بالقشور	55
الصورة 4 ـ 2 أنابيب مرجل ومحرك ديزل تكسوها القشور	57
فقدان الصابون بالعسرة	58
الجدول 5 ـ 2 القشرة : ارتفاعات درجات الحرارة ، في مختلف معدلات الحرارة الناتجة عن ثخانة قشرتين بمقدار 10 / 1 إنشاً .	58
الصورة : 5 ـ 2 . صورة مجهرية فوتوغرافية للقطن المغسول بماء يسر وماء عسر .	59
الجدول6ـ 2 إتلاف الماء من مختلف أنواع العسرة للصابون	60
عسرة الموارد المائية الصناعية	61
تيسير الماء	64
أملاح الصوديوم	65
الجدول 8 ـ 2 ذوبانية بيكربونات ، وكربونات ، وكلور ، وهيدروكسيد ، ونترات ، وكبريتات الصوديوم	66
السيليكا	67
الحديد	69
المنغنيز	71
الألمنيوم	72
الفلور	73
الحموضة المعدنية	74

116-77	**الفصل الثالث : الغازات المنحلة**
77	ثاني أكسيد الكربون
79	الجدول 1 - 3 . ذوبانية ثاني أكسيد الكربون : عند 760 مم و 0 – 60 ^{O} مئوية
80	الجدول 2 - 3 ذوبانية ثاني أكسيد الكربون من الجو عند 760 مم و0ْ – 40^{O} مئوية
80	الجدول 3 - 3 . ثاني أكسيد الكربون المنحل : الأوزان وعوامل التحويل .
81	تقدير CO_2 الحرّ في عينات الماء
82	الصورة 1 ـ 3 تقدير ثاني أكسيد الكربون وأجهزة المعايرة
83	أخطاء أخذ العينة والمعايرة
83	الجدول4-3 ثاني أكسيد الكربون أخطاء أخذ العينة والمعايرة
83	التبدلات في محتوى CO_2 عند النقل والتخزين
83	الجدول 5 - 3 ثاني أكسيد الكربون : الضياعات من عينات الماء أثناء النقل .
84	الجدول 6 - 3 ثاني أكسيد الكربون الكسب أو الخسارة أثناء تخزين عينات الماء ومعبراً عنها كأجزاء من CO_2 / مليون
85	قلوية الفينول فثالين في المياه الطبيعية
86	تأثير CO_2 على قيم الـ PH
87	الصورة 2 - 3 . تأثير ثاني أكسيد الكربون الحر على PH الماء ، الذي يحمل قلوية البيكربونات .
88	إزالة ثاني أكسيد الكربون
89	التهوية
91	الجدول 7- 3 . تهوية محاليل بيكربونات الصوديوم بدرجة 25 مئوية
92	نزع الهواء
94	الأكسجين والنتروجين
95	الجدول 8 ـــ 3 ذوبانية الهواء ومحتويات الأكسجين والنتروجين في الهواء المنحل عند الضغط الجوي وعند درجة 0 - 100^{o} م
95	النتروجين

الجدول 9 ـ 3 أوزان الهواء والأكسجين والنتروجين بدرجة (0) م	96
الجدول 10 ـ 3 معاملات التحويل للأكسجين والنتروجين المنحلين	96
الأكسجين	96
الصورة 3ـ 3 مقطع متآكل من أنبوب إعادة ناتج التكثيف يظهر أن أكبر نسبة من التآكل حيث كان يوجد الماء السائل	97
كبح أو إنقاص الحت الكيميائي للأكسجين المنحل :	101
ـ نزع الهواء من مياه تغذية المراجل	101
ـ نزع الهواء بالتفريغ	102
ـ سلفيت الصوديوم	102
ـ سيليكات الصوديوم مع الصودا الكاوية	103
ـ الطبقات الرقيقة أو القشور لكربونات الكالسيوم	103
مرشحات التعديل	104
الحماية الكاثودية	104
سحب العينات من أجل قياسات الأكسجين المنحل	104
كبريت (سلفيد) الهدروجين	105
الجدول 11 ـ 3 . تهوية ثلاث عينات من الماء	107
الجدول 12 ـ 3 . عوامل سلفيد الهيدروجين	108
الصورة 5 ـ 3 أجهزة تهوية المياه الكبريتية بغاز المداخن	110
الجدول 13- 3 ذوبانية سلفيد الهيدروجين عند 760 مم ، وعند 0° - 100 ° م	111
الجدول 14ـــ 3 الأوزان وعوامل التحويل لسلفيدات الهيدروجين المنحلة	112
الجدول 15- 3 . تأكسد السلفيدات بالكلور ، عند مختلف قيم الـ PH	112
الميتان	114
الجدول16- 3ذوبانية الميتان عند 760 مم وعند0° - 100° م	115
الجدول 17 ـ 3 . الأوزان وعوامل التحويل من أجل الميتان المنحل	116

117	**الفصل الرابع** **العكـــارة ، والراســـب ، واللـــون , والمـــادة العضـــوية ، والاختبارات , والروائح , والمتعضيات المجهرية**
117	أولاً - العكارة والرواسب
120	العكارة في التيارات الجارية
121	العكارة في البحيرات ، والبرك ، والسدود
124	العكارة في المياه الجوفية
126	مجالات العكارة المسموحة
126	إزالة العكارة والراسب
127	ثانياً - اللون والمادة العضوية
129	تفاوتات اللون المسموحة
129	إزالة اللون والمادة العضوية
132	ثالثاً - الطعوم والروائح
134	إزالة الطعوم والروائح
134	المتعضيات المجهرية
139	إزالة المتعضيات المجهرية
140	الجدول 1 - 4 جرعات كبريتات النحاس من أجل مختلف المتعضيات
142	الجدول 2 - 4 تراكيز ; كبريتات النحاس القاتلة للأسماك .
143	**الفصل الخامس : تهيئة المياه الصناعية**
143	الوفرة
144	معدلات الجريان ، والضغوط ، والتخزين
146	النوعية
147	الاستخدامات الصناعية للماء وعملية تهيئته
147	مياه تغذية المراجل
148	مياه التبريد
149	المياه المعالجة
150	مياه الأغراض العامة
150	إزالة العكارة واللون ، والمعالجة بالكلور وإزالة الطعوم والروائح
152	إزالة الحديد و/ أو المنجنيز

إزالة كبريت الهيدروجين	153
مستخدمو معدات معالجة الماء	153
الجدول 1 ـ 5 قائمة جزئية لمستخدمي معدات معالجة الماء وأنماط تلك المعدات المستخدمة في مختلف الصناعات	154
الجدول 2 – 5 متطلبات كميات الماء للاستعمالات المتعددة	162
الصناعات الخاصة بمصانع السيارات	163
تعبئة القوارير : الأشربة المكربنة	166
الصورة 1 - 5 معالجة الماء بطريقة الكلس الباردة والكلورة ثم إزالة آثار الكلور في أحد مصانع المشروبات الغازية	168
مصانع الجعة (البيرة)	169
الصورة 2 – 5 بطاريتا ترشيح بالكربون الفعال لإزالة الروائح من مياه الجعة	170
الصناعات الخزفية	171
المصانع الكيماوية	173
الصورة 3 – 5 وحدة لإزالة المعادن من المياه وتتألف من مبادلين كاتيونيين ومبادلين أنيونيين	174
مصانع التقطير	177
الصورة 4 – 5 وحدة لإزالة المعادن والطعم واللون بالمبادلات الشاردية الأنيونية والكاتيونية والفحم الفعال	179
وحدات الطلاء بالكهرباء	180
الصناعات الغذائية	182
1 ـ المخابز	182
2ً ـ مصانع تعليب الأطعمة	183
3ً ـ صناعة الحمضيات	184
4ً ـ مصانع الألبان	185
5ً ـ صناعة الجليد	186
6ً ـ مصانع تعليب اللحوم	187
7ً ـ مصانع تكرير زيت الطعام	188
8ً ـ نواتج النشا والذرة	188
9ً ـ صناعة السكر	189
مصانع الغاز	189

مصانع الحديد والفولاذ	190
مصانع الورق و عجينة الورق	191
الجدول 3 ـ 5 التفاوتات المسموحة في صناعة الورق	192
البترول : حقول الزيت ، مصانع التكرير :	194
1ً - عمليات حقول الزيت	194
الصورة 5 – 5 محطة لتبريد وتيسير الماء بطريقة الكلس البارد في أحد مصافي النفط	195
2ً ـ مصانع التكرير ـ البترو كيماويات	196
استوديوهات التصوير الفوتوغرافي	197
الخطوط الحديدية	198
المدابغ	200
الأنسجة :	201
ـ العكارة واللون	201
ـ الحديد والمنجنيز	202
ـ العسرة	202
الناميات العضوية	204
تثبيط التآكّل	204
الفصل السادس : تهيئة المياه التجارية والمؤسساتية	**205**
أولاً : مباني المكاتب	205
الجدول 1- 6 احتياجات الماء للشخص الواحد في المكاتب	205
ثانياً : الفنادق والموتيلات والنوادي	206
الجدول 2 - 6 استهلاك الماء بفندق مؤلف من 300 غرفة	207
الموارد المائية البلدية	208
الصورة 1 – 6 وحدتان لتيسير الماء بالمبادل الكاتيوني الصوديومي في أحد الفنادق	208
المورد المائية الخاصة	210
المغاسل المؤسساتية	211
الجدول 3 - 6 الوفر في حال استخدام الماء اليسر	212
قشور المياه العسرة	213
الترشيح	214
إزالة الحديد والمنجنيز	215

216	إزالة الطعوم والروائح
217	المستشفيات والمؤسسات
218	ثالثاً : مغاسل الملابس
218	مياه تغذية المراجل
219	طريقة الكلس البارد
219	الترشيح وإزالة الحديد والمنجنيز
219	ثالثاً : مغاسل الملابس التجارية
220	الجدول 4 - 6 خسارة مسحوق التنظيف من نوع 50 % صابون و 50 % مواد مقوية . والصابون الصرف
223	**الفصل السابع : تهيئة مياه البلدية**
223	استهلاك الماء
223	1- معدل الجالونات للشخص الواحد في اليوم
223	2- المعدلات القصوى اليومية والساعيّة
224	3- تقديرات الاستهلاك المستقبلي للماء
224	نوعية مياه الشرب
225	معايير المصالح الصحية العامة لمياه الشرب
225	العكارة واللون والطعم والرائحة
226	الحدود المقترحة لمركبات الرصاص والفلور والزرنيخ والسيليسيوم والكروم السداسي التكافؤ
227	الحدود المقترحة لمركبات النحاس والمنجنيز والمغنزيوم والزنك والكلور والكبريتات والفينول
228	الحدود المقترحة للقلوية ولقيم الـ PH للمياه المعالجة كيميائياً
229	إزالة العكارة واللون
229	الترسيب (الترسيب البسيط)
230	التخثير والترويق
231	(1) مرشحات الرمل السريعة الترشيح من نمط الثقالة
231	(2) مرشحات الرمل السريعة من النمط الضغطي
234	الصورتان 1 – 7 و 2 – 7 وحدة تنقية مياه نهر عكر
235	الصورة 3 ـ 7 منشأة لإزالة اللون وتيسير الماء بالكلس
236	التعقيم :
236	(1) الكلور

(2) ثاني أكسيد الكلور	236
(3) الكلور اميدات	237
(4) الهيبو كلوريدات	237
(5) الأوزون	237
إزالة الطعوم والروائح	237
إزالة الحديد والمنجنيز	238
تيسير المياه	240
المنظفات التركيبية	242
عمليات تيسير مياه البلدية	242
1- الطريقة الباردة لتيسير الماء بالكلس (أو الكلس صودا)	243
الرواسب الناتجة كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم	244
المواد الكيماوية المطلوبة والتكاليف النسبية للمعالجة	244
أجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد	245
الصورة 4 ـ 7 . منشأة لتيسير وتنقية الماء بالكلس البارد	246
1ً- نمط تماس الجوامد المعلقة (الدثار العكر)	246
2ً- الأنماط التقليدية	248
3ً- نمط السبيراكتور (الحافز)	249
إزالة الحديد والمنجنيز بطريقة الكلس صودا على البارد	250
طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)	250
الصورة 5 ـ 7 منشأة لتيسير الماء بمبادل كاتيوني / زيوليت	252
التشغيل الآلي	253
أحواض تخزين الملح الرطب	253
استهلاك الملح	254
التجديد بمياه البحر	255
الصورة 6 ـ 7 منشأة لتيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت) المتجددة بماء البحر	255
إزالة الحديد والمنجنيز بطريقة التبادل بكاتيونات الصوديوم	256
إزالة الحديد قبل التيسير	258
طريقة تبادل كاتيونات الكلس والصوديوم ذات المرحلتين	259
التآكل و(المياه الحمراء)	260
التقاط الحديد	261

المعالجة بمركبات الفلور	262
تخفيف المحتويات العالية من الفلوريد	262
الفصل الثامن : مياه تغذية المراجل	**264**
رواسب المراجل	264
ضياع الحرارة الذي تسببه القشرة	266
القشرة مقابل العكارة	267
معالجة للماء الإضافي المعوِّض لمياه تغذية المراجل	270
طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)	272
الصورة 1 - 8 . منشأة لتيسير الماء المعوّض للمراجل في مصفاة للنفط في العربية السعودية	273
طريقة تبادل كاتيونات لبهيدروجين	273
طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات :	274
الصورة 2 - 8 : منشأة لإزالة السيليكا ونزع المعادن	276
طريقة الكلس البارد مع تبادل كاتيونات الصوديوم	277
طريقة الكلس باريوم الباردة	278
طرق الكلس صودا الساخنة :	278
1ً - طريقة الكلس صودا الساخنة	279
2ً - طريقة الكلس صودا الساخنة والفوسفات ذات المرحلتين	279
3ً - طريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين	280
التقطير	280
الصورة 3 - 8 . جهاز تيسير الماء بطريقة الكلس صودا الساخنة فوسفات الصوديوم ذات المرحلتين مع حجيرات إضافية للفوسفات وجهاز نزع الهواء في معمل للفولاذ	281
إزالة السيليكا :	282
الطريقة الأولى لإزالة السيليكا	282
الطريقة الثانية لإزالة السيليكا	282
الصورة 4 - 8 . قيم SiO_2 المسموح بها في مياه المراجل من أجل مختلف الضغوط البخارية .	283
نزع الهواء	284
معالجة عائدات ناتج التكثيف	285

المعالجة الداخلية لمياه المراجل	287
المعالجة بالسلفيت :	287
الجدول 1 ـ 8 : الجرعات النظرية من $Na2SO_3$ من أجل الأكسجين المنحل	288
الجدول 2 ـ 8 سلفيت الصوديوم : إضافة لتأمين زيادة في محاليل المراجل الملحية	289
المعالجة بالفوسفات :	289
الجدول 3 ـ 8 . الاحتياجات من الفوسفات لتخفيض العسرة	291
الجدول 4 ـ 8 . الاحتياجات من الفوسفات : إضافة لتأمين زيادة من PO_4 الذواب في محاليل المراجل الملحية .	291
مركبات المرجل (لمنع القشرة)	292
الصورة 5 ـ 8 . أداة الفعالية الإشعاعية	295
أدوات الفعالية الإشعاعية	295
ظاهرة إزالة القشور	295
التصريف	296
الجدول 5 – 8 : حدود تركيز المحاليل الملحية في مياه المرجل في وحدات دارات لتجميع البخار	297
التصريف المتقطع	298
التصريف المستمر	299
الصورة 6 ـ 8 : جهاز قياس ملوحة محاليل المراجل الملحية	299
الصورة 7 ـ 8 : منظمات للمستويات الحرارية المنخفضة اللادفعية من أجل التصريف المستمر	300
الصورة 8 ـ 8 : منظمات للمستويات الحرارية العالية اللادفعية من أجل التصريف المستمر	301
الصورة 9 ـ 8 : منظمات للمستويات الحرارية المنخفضة الدفعية للتصريف المستمر .	301
الصورة 10 ـ 8 : منظمات للمستويات العالية الدفعية للتصريف المستمر	302
التصدع البلّوري البيني لمعدن المرجل	302
الصورة 12 ـ 8 . مكشاف شرويدر للتقصف	304
الوقاية من التآكل	304

مياه التبريد	306
الأنظمة المائية ذي الحرارة العالية	306
الفصل التاسع : مياه التبريد	**309**
المياه الجوفية	309
المياه السطحية	310
مياه البحر	310
القشرة والرواسب في شبكات التبريد	310
1 ـ القشرة	310
الجدول 1 ـ 9 : ذؤوبيات بيكربونات وكربونات وكلوريدات وكبريتات الكالسيوم والمغنزيوم	312
الجدول 2 ـ 9 : معلومات لإجراء حسابات دليل لا نغلييه بسرعة (دليل الإشباع بكربونات الكالسيوم) .	313
2 ـ رواسب التآكل	315
3 ـ العكر	316
4 ـ الناميات العضوية	316
مواصفات مياه التبريد :	317
1 ـ الدورة الآنية ثم الهدر	317
2 ـ دورة التبريد الآنية ثم استخدامها لأغراض أخرى	317
3 ـ دورة التبريد المكشوفة الدوارة	318
4 ـ شبكة التبريد الدورانية المغلقة	318
معالجات مياه التبريد :	319
1 ـ التخثير ، و/ أو الترسيب ، و/ أو الترشيح	319
2 ـ طريقة الكلس البارد	319
3 ـ طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم	320
الصورتان 2 ـ 9 و 3 ـ 9 : وحدة تيسير بالكلس لمياه التعويض في أبراج التبريد في وحدة لتوليد الطاقة	321
4 ـ طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين	322
5 ـ نزع المعادن	322
6 ـ المعالجة الحمضية	323
7 ـ إزالة الحديد والمنغنيز	324

8 ـ التهوية	324
9 ـ المعالجة بالكلور والمعالجة بكبريتات النحاس	325
10 ـ المعالجات بالبولي فوسفات	326
الفصل العاشر : التهوية	**327**
أولاً : إزالة الغازات	327
1- ثاني أكسيد الكربون	327
2 ـ كبريت الهيدروجين	329
3 ـ الميتان	333
4 ـ الروائح	333
ثانيا ـ إزالة الحديد والمنجنيز	334
آ - الحديد	334
ب – المنجنيز	336
أجهزة التهوية :	337
أجهزة التهوية المدرجة	338
أجهزة التهوية المخروطية المتحدرة	338
أجهزة التهوية اللوحية	339
جهاز التهوية المؤلف من حوض الكوك	339
الصورة 1 ـ 10 . جهاز التهوية بحوض الكوك	340
الصورة 2 ـ 10 جهاز التهوية المؤلف من أحواض خشبية	342
أجهزة التهوية المؤلفة من أحواض الألواح الخشبية	342
أجهزة التهوية بالرش	343
أجهزة التهوية أو أجهزة نزع الغاز بالتهوية القسرية	344
لصورة 3 ـ 10 جهاز التهوية بالتيارات القسرية	346
صهاريج نزع الكربنة	347
أجهزة التهوية الضغطية	347
الصورة 4 ـ 10 جهاز الإشباع الضغطي (جهاز التهوية)	349
الفصل الحادي عشر : نزع الهواء	**350**
إزالة الأكسجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون بالغلي :	352
ـ أجهزة التسخين المكشوفة	352
أجهزة التسخين النازعة للهواء من نموذج الرش	354

الصورة 1 ـ 11 جهاز تسخين مكشوف من نموذج الرش مع مكثف تنفيس خارجي	355
الصورة 2 ـ 11 جهاز التسخين العمودي النازع للهواء من نموذج الرش	256
الصورة 3 ـ 11 جهاز تسخين نازع للهواء من نموذج الرش ذو صهريج تخزين أفقي ومكثف تنفيس داخلي	358
أجهزة التسخين النازعة للهواء : النماذج الحوضية ، النماذج الرذّاذة	359
الصورة 4 ـ 11 . جهاز تسخين نازع للهواء من النموذج الرذّاذ مع حوض تخزين عمودي	360
الصورة 5 ـ 11 جهاز تسخين نازع للهواء من النموذج الرذّاذ مع حوض تخزين أفقي	361
التهوية	361
نزع الهواء من الماء البارد بالتفريغ	363
الصورة 6 ـ 11 جهاز خوائي لنزع الهواء	366
الصورة 7 ـ 11 خوائي لنزع الهواء في مصنع كيميائي	367
الفصل الثاني عشر : أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية	368
أولاً : أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية : النموذج السائل	369
آ ـ أجهزة التغذية الكهربائية الكيميائية	369
الصورة 1 ـ 12 جهاز للتغذية الكيميائية الكهربائية من أجل CaO مع صهريج لإطفاء لجير فوق صهريج التغذية .	371
الصورة 2 ـ 12 . جهاز للتغذية الكيميائية الكهربائية من أجل الكيماويات الذوابة	372
2 ـ أجهزة التغذية بمحلول ضغطي	373
الصورة 3 ـ 12 جهاز التغذية بالمواد الكيميائية من نموذج المحلول الضغطي للتغذية بكبريتات الألمنيوم	374
3ً ـ أجهزة التغذية الكيميائية من النموذج المرجلي	375
الصورة 4 ـ 12 جهاز تغذية كيميائي من النموذج المرجلي من أجل البوتاس أو شب الأمونيا الكتلي أو البلوري .	376
4ً ـ أجهزة التغذية الكيميائية بالضغط الترددي	377
الصورة 5 ـ 12 نموذج الضخ الترددي للتغذية الكيميائية	378

ثانياً ـ أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية : النموذج الجاف	379
الصورة 6 ـ 12 . جهاز تغذية كيميائي من النموذج الحجمي	380
ثالثاً ـ أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية الغازية :	383
1 ـ الكلور	383
2 ـ الأمونيا	384
3 ـ ثاني أكسيد الكربون	385
4 ـ ثاني أكسيد الكبريت :	386
الجدول 1 ـ 12 بيانات بالمواد الكيميائية التجارية المستعملة لمعالجة المياه	386
الفصل الثالث عشر : الترسيب والتخثير والترويق والترشيح	**391**
أولاً ـ الترسيب	391
ثانياً ـ التخثير	392
اختبارات المطربانات	395
المواد المخثِّرة	397
1 ـ كبريتات الألمنيوم	397
الجدول 1 ـ 13 تفاعلات كبريتات الألمنيوم مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات	397
الجدول 2 ـ 13 . مواد التخثير وحمض الكبريت : التأثير في كل 1 ppm مضاف	398
الجدول 3 ـ 13 . مواد التخثير وحمض الكبريت : كميات القلويات والكلس المطفأ اللازمة لمعادلة 1 ppm	398
2ً ـ كبريتات الحديدي	400
الجدول 5 ـ 13 تفاعلات كبريتات الحديدي مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات والأكسجين المنحل .	401
3ً ـ كبريتات الحديدي المعالجة بالكلور	401
الجدول 6 ـ 13 . كبريتات الحديدي المعالجة بالكلور: التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات	401
4ً ـ شب البوتاس وشب الأمونيا	402
الجدول 7 ـ 13 . شب البوتاس : التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات	402

5ً ـ ألومينات الصوديوم	402
المواد المساعدة للتخثير : (المواد المساعدة للدمج) :	403
1ً ـ الطين	404
2ً ـ السيليكا المنشطة	405
3 ـ متعددات الشحنة الكهربائية	406
ثالثاً ـ الترويق	407
نموذج الدثار العكر من معدات التخثير والترويق	408
الصورة 1 - 13 رسم تخطيطي لمعدات تخثير ، و ترويق ، وترشيح	410
أدوات تشكيل اللبادة وأحواض الترسيب	411
الصورة 2 ـ 13 . رسم نموذجي لتشكيل اللبادة من معدات التخثير والترويق	412
رابعاً ـ الترشيح	414
1ً ـ مرشحات النموذج الضغطي	415
الصورة 3 ـ 13 . مرشحة ضغطية عمودية	416
الصورة 4 ـ 13 . مرشح ضغطي أفقي	416
الجدول 9 ـ 13 . مرشحات عمودية : المساحات ، ومعدلات الغسل الراجع ، ومعدلات الترشيح	417
الجدول 10 ـ 13 . مرشحات أفقية : المساحات ، ومعدلات الغسل الراجع ، ومعدلات الترشيح	418
وسط الترشيح : رمل وحصى	418
وسط الترشيح : انثرافيلت	419
رؤوس المصافي	421
عوارض أو حواجز الإدخال	421
الصورة 5 ـ 13 . رأس مصفاة بلاستيكي	422
الصورة 6 ـ 13 . رأس مصفاة من النحاس الأصفر	422
مفاتيح التحكم بمعدل الجريان مياه الغسل	422
مقاييس فقدان الضغط	423
مؤشرات معدلات الجريان	423
الصورة 7 ـ 13 . مؤشر سرعة الجريان	423
مفاتيح التحكم بمعدلات الجريان	424

الصورة 8 ـ 13 . مفتاح للتحكم بمعدل الجريان .	424
غسالات السطح الرحوية	424
الصورة 9 ـ 13 . غسالة سطحية رحوية .	425
تشغيل المرشح	426
الصورة 10 ـ 13 . مجموعة مؤلفة من ست مرشحات عمودية من النموذج الضغطي .	428
مرشحات الثقالة	429
جدول 11 ـ 13 حجوم ومعلومات لمنشآت الترشيح بالثقالة	430
الصورة 11 ـ 13 . مرشحة كونكريت بالثقالة	433
وسط الترشيح : رمل وحصى	434
الصورة 12 ـ 13 . رأس مصفاة من البورسلين	435
لوحات التشغيل	436
مفاتيح ضبط معدل الجريان	436
مفاتيح ضبط معدل جريان الغسل الراجع	437
مقاييس معدلات الجريان	437
مقاييس فقدان الضغط	437
مقاييس عمق البئر النقية 438	438
مرشحات الثقالة العديمة الصمامات الآلية :	438
الترشيح	438
الصورة 13 ـ 13 . مرشح بالثقالة بدون صمامات آلية	439
الغسل الراجع	440
الصورتان 14 ـ 13 و 15 ـ 13 . مرشح بالثقالة بدون صمامات آلية . نموذج صناعي تبين مخططات الجريان في الأولى عملية الترشيح وفي الثانية عملية الغسل الراجع	440
الصورة 16 ـ 13 . مجموعة مؤلفة من ست وحدات من مرشحات بالثقالة عديمة الصمامات الآلية في مصنع ورق	441
الشطف	442
تشغيل المجموعة	442
طرق التصفية :	442
1ً ـ الترسيب	443
2ً ـ الترشيح	443

3ً - التخثير والترشيح	443
4ً - التخثير والترويق	444
5ً - التخثير والترويق والترشيح	444
6ً - الترسيب والتخثير والترويق والترشيح	444
7ً - المعالجة بالكلور	445
8ً - المرشحات الأخرى :	445
أ - مرشحات الكربون المنشط	445
ب - مرشحات المنغنيز زيوليت	448
ج - مرشحات التعادل	448
د - مرشحات إزالة الزيت	450
طريقة هيدروكسيد الحديد لإزالة السيليكا	450
الصورة 17 - 13 مخطط إزالة السليكا بكبريتات الحديد	451
الفصل الرابع عشر : إزالة الحديد والمنغنيز	**453**
إزالة الحديد والمنغنيز	455
أولاً- إزالة بيكربونات الحديد	455
1ً- إزالة الحديد بالتهوية ، والترويق ، والترشيح	458
الجدول 1 - 14 تأثير الـ PH على أكسدة حديد بيكربونات الحديد بواسطة الهواء المنحل	459
الجدول 2 - 14 التحريك المستمر ، لا تظهر تأثيراً حفازاً على أكسدة حديد هيدروكسيد الحديد بواسطة الهواء المنحل .	460
معدات التهوية	460
الصورة 1 - 14 جهاز تهوية من نموذج حوض الكوك يستعمل لإزالة الحديد	461
التهوية الضغطية	462
أكسدة الحديد بالكلور	462
الجدول 3 - 14 الحديد : يظهر أن الكلور يؤكسد الحديد عند PH أقل مما تكون عليه مع الهواء المنحل	463
2ً - إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم	463
3ً - إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين	465
4ً - إزالة الحديد بطرق الكلس البارد صودا	466
الصورة 2 - 14 جهاز مستطيل لنزع الغاز مع جهازترسيب	466

6ً - إزالة الحديد بطريقة زيوليت المنغنيز	467
ثانياً - إزالة هيدروكسيد الحديد	469
ثالثاً - إزالة كبريتات الحديد	470
الصورة 3 - 14محطة معالجة للتخلص من الحديد والمنغنيز بواسطة التهوية والتحكم بالـ PH بواسطة الكلس	471
رابعاً - إزالة الحديد العضوي	471
إزالة بيكربونات المنغنيز	473
1 - إزالة المنغنيز بالتهوية والترويق والترشيح	476
التأثيرات الحفازة لهيدروكسيدات أو أكاسيد المنغنيز	477
الجدول 4 - 14 المنغنيز : تأثير قيمة الـ PH على أكسدة المنغنيز المنغنيزي بواسطة الهواء المنحل بدون تحريك .	477
الجدول 5 - 14 التأثير لحفاز لـ 1غ / ل من هيدروكسيد المنغنيز المهوّى والمرسب سابقاً ، بالتحريك ، أثناء أكسدة المنغنيز المنغنيزي في مختلف قيم PH .	478
أكسدة المنغنيز المنغنيزي بالكلور	479
الجدول 6 - 14 تأثير الـ PH على تأكسد المنغنيز المنغنيزي بواسطة الكلور بدون تحريك .	479
2ً - إزالة المنغنيز بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم	479
3ً - إزالة المنغنيز بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين	480
4ً - إزالة المنغنيز بطريقة الكلس البارد صودا	480
5ً - إزالة المنغنيز بطريقة زيوليت المنغنيز	481
إزالة كبريتات المنغنيز	481
إزالة المنغنيز العضوي (المستخلب)	481
الفصل الخامس عشر : طريقة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت)	**483**
طريقة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت)	485
الجدول 1- 15 صيغ سبع من الزيوليتات الطبيعية	487
مبادئ التشغيل الرئيسية	490
الأسرة العمودية	491
إزالة الكلسيوم والمغنيزيوم والحديد والمنغنيز	492
نوعية الصبيب	493

الجدول 2-15 صبيب مبادل كاتيونات الصوديوم	494
التجديد	494
التجديد بمياه البحر أو المياه الحبيسة أو الملحية الطبيعية	495
الجدول 3 - 15 تحليل المقومات الرئيسية في مياه المحيطات	496
العسرة المعادَلة	497
مبادلات كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)	497
1 - الزيوليتات من نموذج الانصهار	498
2 - الزيوليتات من نموذج الجل	498
3 - زيوليتات الرمل الخضراوي	500
مبادلات الكاتيونات الكربونية	502
مبادلات الكاتيونات الراتينية العديدة الستيرين العالية القدرة	503
الجدول 4 - 15المبادلات الصوديومية الكاتيونية	505
ميسرات الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)	506
البناء والتوابع :	507
الأغلفة	507
شبكات التصريف السفلية	507
الحصى والرمل	508
سرير مبادل الكاتيونات	509
مجمعً مياه الغسل	510
شبكة توزيع المياه المالحة	510
صهاريج المحاليل الملحية وأحواض الملح السائل	511
الجدول 5 - 15 جدول الملح والمحاليل الملحية : على أساس الملح التجاري الذي يحتوي مالا يقل عن 98 % من NaCl	512
التحكم بالغسل الراجع	512
التحكم بالشطف	513
العداد (المقياس)	513
ميسرات الماء الآلية بمبادل كاتيونات الصوديوم / الزيوليت	513
الصورة 1 - 15 جهاز تيسير الماء الآلي بمبادل كاتيونات الصوديوم / الزيوليت	514
شوط التيسير	514
الصورة 2 - 15 ثلاث وحدات آلية لتيسر الماء بمبادل	515

كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)	
الغسل الراجع	515
التجديد (الإشباع بالملح أو بالمحلول الملحي)	516
الشطف	517
الإرجاع إلى العمل	518
الفاحص الآلي للعسرة	519
الصورة 3 - 15 الفاحص الآلي للعسرة	519
التشغيل نصف الآلي	520
ميسرات الماء اليدوية بمبادل كاتيونات الصوديوم / زيوليت	520
عمليات الصمام المتعدد الفوهات	521
الغسل الراجع	521
التجديد	521
الشطف	521
التيسير	521
تشغيل الصمام البوابي المستقل	522
الغسل الراجع	522
التجديد	522
الشطف	522
التيسير	522
ميسرات الماء بالجريان الصاعد بمبادل كاتيونات الصوديوم	522
ميسرات الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم من نموذج الثقالة	523
الصورة 4 – 15 وحدة من بطاريتين لتيسير الماء بطريقة كاتيونات الصوديوم	524
طريقة الجير البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين	525
طريقة الجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين	525
طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين وتبادل كاتيونات الصوديوم	525
طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وتبادل أنيونات الكلوريد ذات المرحلتين	526

الفصل السادس عشر : طرق تبادل كاتيونات الهدروجين	**527**
طرق تبادل كاتيونات الهدروجين	529
المبادئ الأساسية للتشغيل	529
تفاعلات مبادلات كاتيونات الهيدروجين مع البيكربونات	530
تفاعلات مبادلات كاتيونات الهيدروجين مع الكبريتات والكلوريدات	531
تجديد تفاعلات مبادل كاتيونات الهيدروجين	532
التجديد بحمض الكبريت	533
التجديد بحمض كلور الماء	534
مبادلات كاتيونات الهيدروجين	534
الجدول 1 - 16 أحماض الكبريت التجارية : درجات 60° بوميه و98 % (التراكيز والأوزان بالجالون الأمريكي والقدم المكعب) .	535
جرعات مواد التجديد	535
قدرات تبادل الكاتيونات وتسربها	536
الجداول 2 و3 و4 ـــ 16: القدرات النموذجية لمبادل الكاتيونات العديدة الستيارين العالية القدرة	538
معدات مبادل كاتيونات الهيدروجين	540
الصورة 1 - 16 وحدة آلية لمبادل كاتيونات الهيدروجين	541
معالجة صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين	543
طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين والصودا الكاوية	543
الصورة 2 - 16 وحدة تبادل كاتيونات الهيدروجين والصودا الكاوية	544
طريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين ومبادل كاتيونات الصوديوم	545
الصورة 3 - 16وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ومبادل كاتيونات الصوديوم	545
الصورة 4 - 16صورة لمنشأة في مصفاة للزيت في وحدة مبادل كاتيونات الصوديوم تجدد بماء البحر	546
طريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين والماء الخام	547
طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات	547

الفصل السابع عشر : طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات والتقطير	**549**
طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات والتقطير	549
طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات	552
مبادلات الأيونات القاعدية الضعيفة	553
مبادلات الأنيونات القاعدية القوية	554
مبادلات الأنيونات القاعدية الوسيطة	55
تأثيرات الكبريتات على قدرات مبادلات الأنيونات	556
قدرات مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة والوسطية	556
قدرات مبادلات الأنيونات القاعدية القوية	557
الجدول 1-17 الخواص الفيزيائية لمبادلات الأنيونات النموذجية	558
أجهزة نزع المعادن	559
الصورة 1 - 17 ترتيب المعدلات المستخدمة في تسعة نماذج من أجهزة نزع المعادن	560
الجدول 2 - 17 قدرات مبادلات الأنيونات النموذجية	561
النموذج A - المرحلة الثانية مع مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة	564
الصورة 2 - 17مخططات التوصيل الكهربائي	565
النموذج B - المرحلة الثانية مع مبادل الأنيونات القاعدية القوية	566
الصورة 3 - 17 وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة	567
الصورة 4 - 17 النموذج A	568
الصورة 5 - 17 رسم غسل أبتر لجهاز نزع المعادن والسيليكا من النموذج B	568
النموذج C المرحلة الثالثة باستخدام مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية والقاعدية القوية	569
الصورتين 6 و 7 – 17 وحدة مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية والقاعدية القوية	570
مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية والقوية للمرحلة الرابعة من النموذج D	570

571	وحدات الصقل ذات المراحل الأربع ـ النموذج E
572	الصورة 8 ـ 17 النموذج D
573	الصورة 9 ـ 17 النموذج E
573	السلسلة المتناوبة ذات المراحل الأربع ـ نموذج F
575	السرير الممزوج ـ النموذج G
576	الصورة 10 ـ 17 السرير الممزوج ـ النموذج G
577	الصورة 11 ـ 17 النموذج G
577	مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة نموذج H إضافة لسرير صقل مختلط
578	مبادل كاتيونات الهيدروجين نموذج I ذو المجرى الجانبي يليه نازع غاز وسرير مختلط
579	الصورة 12 ـ 17 النموذج I
579	التقطير
580	الجدول 3 ـ 17 التقطير : المديات في المحتويات المعدنية لعدد من المياه المقطرة التجارية
581	المبخرات العديدة الوحدات
582	مبخرات الضاغط البخاري
582	تشكل القشرة في المبخرات
583	استخدامات المياه المقطرة والمنزوعة المعادن
584	إزالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة إلى الملوحة :
586	التجميد
586	الديلزة بالكهرباء
589	**الفصل الثامن عشر : طرق تيسير الماء بالجير البارد ـ صودا**
591	طرق تيسير الماء بالجير البارد ـ صودا
592	المبادئ الرئيسية للعملية
592	الجدول 1 ـ 18 ذوبانية بيكربونات وكربونات وكلوريدات وماءات الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم
593	قلوية الكلسيوم ، والمغنيزيوم والصوديوم
594	الجدول 2 ـ 18 القلوية وعسرة اللاكربونات في ثلاث أنواع من المياه قبل وبعد المعالجة بطريقة الجير ـ صودا الباردة

عسرة اللاكربونات	594
الاختلاف في المعالجة	595
المواد الكيميائية المستخدمة	596
الجير الكيميائي	596
الجير المميأ	597
الجير الدلوميتي والجير الدولوميتي المميأ	597
رماد الصودا	597
المواد المخثرة	597
مقارنة تكاليف المعالجة	598
الجدول 3 - 18 مقارنة تكاليف إزالة بيكربونات المغنيزيوم وعسرة اللاكربونات باستخدام الجير الكيميائي والصودا .	599
نماذج ميسرات بالجير البارد- صودا	599
نموذج دثار العكارة	600
الصورة 1 - 18 مقطع عمودي في مرسب	602
التصميم العمودي	602
الصورة 2 - 18 رسم اجترافي في مرسب	603
التصميم الأفقي	605
الصورتين 3 - 18 و 4 - 18 مقطع في مرسب أفقي	606
تصميم الطابقين أو تصميم لويزيانا	607
الصورة 5 - 18وحدتين لمنشأة من تصميم لويزيانا	608
النموذج التقليدي"	608
التصميم الفولاذي	609
التصميم الكونكريتي	610
إعادة الكربنة	611
النموذج الحفاز سبايركتور	612
الصورة 6 - 18مقطع عرضاني لوحدة سبايركتور	613
النموذج المتقطع أو المعالج بالدفعة	615
النتائج مع مختلف المعالجات بالجير البارد صودا	615
الصورتين 7 و 8 - 18رسم بياني يوضح نتائج المعالجات بالجير البارد ـ صودا لإزالة الكربونات والهيدروكسيد	617
المعالجة بالجير البارد	618

619	المعالجة بالجير البارد ـ صودا
619	المعالجة بالجير البارد ـ صودا مع زيادة المواد الكيميائية
619	المعالجة بالجير البارد ـ كلوريد (أو كبريتات) الكلسيوم
620	المعالجة بالجير البارد ـ باريوم
620	المعالجة بالجير البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين
621	إزالة الحديد والمنغنيز
622	إزالة السيليكا بالمعالجة بالجير البارد ـ صودا مغنزيا
623	الصورة 9 - 18 ترسيب كربونات وبيكربونات المغنيزيوم على شكل هيدروكسيد بالجير
624	الصورة 10 - 18 منحني تأثير درجة الحرارة على ترسيب كربونات وبيكربونات المغنيزيوم
625	إزالة الفلوريد
625	الجدول 4 ـ 18 المعالجة بالجير البارد ـ صودا : إزالة الفلوريد والمغنيزيوم والمنغنيز
626	إزالة العكارة
627	حسابات الجرعات الكيميائية
627	تأثيرات التخثير
627	إزالة أكسيد الكربون الحر
628	حسابات خاصة لكل معالجة :
628	الخطوات الأولى في حسابات المعالجة بالجير البارد ـ صودا
628	تحويل تحليل الماء
629	الجدول 5 ـ 18 جرعات مادة التخثير والتأثيرات
629	التحليل المصحح بمادة مخثرة
630	الثمالات القصوى المضمون
630	رموز مستخدمة
631	المعالجة بالجير البارد : خفض قلوية الكلسيوم
631	النتائج
631	تركيب الصبيب
632	الجدول 6 - 18 المعالجة بالجير البارد لخفض قلوية الكلسيوم
633	المعالجة بالجير البارد : إنقاص قلوية الكلسيوم والمغنيزيوم

لنتائج	633
تركيب الصبيب	633
الجدول 7 - 18 المعالجة بالجير البارد لإنقاص قلوية الكلسيوم والمغنيزيوم	634
المعالجة بالجير البارد- صودا	634
فكرة عامة	634
التصنيف	635
الصنف1 (آ) : النتائج	635
الصنف1 (آ) : تركيب الصبيب	635
الصنف1 (ب) : النتائج	636
الصنف1 (ب) : تركيب الصبيب	636
الجدول 8 - 18 . المعالجة بالجير البارد - صودا : الصنف1(آ) : لخفض قلوية وعسرة لاكربونات الكلسيوم	636
الجدول 9 - 18 . المعالجة بالجير البارد- صودا : الصنف1 (ب) : لإنقاص القلوية وإجمالي عسرة اللاكربونات	637
الصنف 2 : النتائج	637
الصنف 2 : تركيب الصبيب	637
الجدول 10 - 18 المعالجة بالجير البارد - صودا : الصنف 2 : لخفض القلوية وعسرة لاكربونات المغنيزيوم	638
الصنف 3 (أ) النتائج	638
الصنف 3 (أ) : تركيب الصبيب	638
الجدول 11 ـ 18 المعالجة بالجير البارد ـ صودا : الصنف 3 (أ) : لإنقاص عسرة لاكربونات الكلسيوم	639
الصنف 3 (ب) النتائج	639
الصنف 3 (ب) تركيب الصبيب	639
الجدول 12 ـ 18 المعالجة بالجير البارد ـ صودا . الصنف 3 (ب) لإنقاص إجمالي عسرة اللاكربونات	640
المعالجة بزيادة المواد الكيميائية أو بالجير البارد ـ صودا في الخطوط الحديدية :	640
النتائج	640
تركيب الصبيب	640

الجدول 13 ـ 18 المعالجة بزيادة المواد الكيميائية , أو بالجير البارد ـ صودا في الخطوط الحديدية	641
المعالجة بالجير البارد ـ كلوريد أو كبريتات الكالسيوم	642
النتائج	642
تركيب الصبيب	642
الجدول 14 ـ 18 المعالجة بالجير البارد ـ كلوريد أو كبريتات الكالسيوم لإنقاص قلوية الصوديوم	643
الجدول 15 ـ 18 المعالجات بالجير البارد ـ صودا : التفاعلات الكيميائية في معالجات الجير البارد ، والجير صودا ـ والجير كلوريد الكالسيوم ، والجير ـ باريوم .	644
الفصل التاسع عشر : معالجات تيسير الماء الساخن	**645**
معالجات تيسير الماء الساخن	647
المعالجة الساخنة بالجير صودا	648
الصورة 1 ـ 19 المعالجة الساخنة بالجير صودا	649
المغذيات الكيميائي	649
جهاز التغذية بالجير صودا	649
لصورة 2 ـ 19 مغذي كيميائي كهربائي	651
المسخن الأولي ، المكثف الهوائي ، نازع الهواء	652
الصورة 2 ـ 19المسخن الرذاذي الأولي	653
المسخنات النازعة للهواء	654
الصورة 4 ـ 19 مسخن رذاذي	654
الصورة 5 ـ 19 مسخن نازع للهواء	655
خزانات الترويق	655
المرشحات	657
الصورة 6 ـ 19 خزان ترويق	658
الصورة 7 ـ 19 مرشحة	660
الجرعات الكيميائية	660
الجير ورماد الصودا	660
الصورة 8 ـ 19مخطط بياني يوضح تأثير زيادة كربونات الصوديوم على خفض القساوة	662
المعالجة بالجير والجبس	662

الجير الدولوميتي والمغنسيا	663
ميسرات مياه المعالجة الساخنة : نماذج وتصاميم	663
المجموعة (1)	664
المجموعة (2)	667
المجموعة (3)	668
المجموعة (4)	668
المجموعة (5)	669
إزالة السيليكا بالمعالجة الساخنة ـ صودا ـ مغنسيا	670
المعالجة الساخنة بالجير صودا والفوسفات ذات المرحلتين	673
الصورة 9 ـ 19 منحنى بياني إزالة السيليكا بالمعالجة الساخنة ـ صودا ـ مغنسيا	674
الصورة 10 ـ 19 المعالجة الساخنة بالجير صودا والفوسفات	675
مغذيات الفوسفات	676
المعالجة بالجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين	676
الصورة 11 ـ 19 رسم لمصنع لتيسير الماء النموذجي بالجير الساخن ومبادل كاتيونات الصوديوم على مرحلتين	677
الجدول 1 ـ 19 التفاعلات الكيميائية لتيسير المياه الساخنة	679

معالجة المياه

للأغراض الصناعية

وغيرها

طارق إسماعيل كاخيا

رئيس الجمعية الكيميائية السورية

الـفـصل الأول

الموارد الصناعية والبلدية للماء

Water Supplies - Industrial and Municipal

الماء هو المادة الوحيدة ، التي تستخدم في الصناعة بكميات كبيرة جداً ، إلى حد يتفوق فيه استهلاكه وزنا وحجما على استهلاك كافة المواد الأخرى . فنحن نحتاج إلى أكثر من 250 طنا من الماء لصنع طنٍّ واحد من الفولاذ ، وإلى أكثر من 700 طناً لصنع طن واحد من الورق ، وإلى أكثر من 1200 طناً لصنع طن واحد من الألومونيوم ، وتستمر القائمة على هذا النحو ، لأن الماء هو عملياً المادة الأكثر استخداماً في كل فرع من فروع الصناعة .

ملاحظة : يدرج الجدول 5 . 2 في الفصل الخامس ، الكميات اللازمة من الماء لمختلف الاستخدامات .

تقوم البلديات بتأمين الماء للحاجات الصناعية والمنزلية وقد يكون المورد من مصدر سطحي : كنهر أو جدول أو قناة أو بركة أو بحيرة أو سدّ سطحي ، أو من مصدر جوفي : كآبار عميقة أو ضحلة أو ينابيع أو من نفق منجم أو نفق ترشيح . وأيّاً كان المصدر فأن الماء سيكون محتوياً على الشوائب ، لأنه ما من مورد طبيعي للماء يتكون من ماء نقي من الناحية الكيمائية . وتختلف تلك الشوائب كماً ونوعاً وفقاً لاختلاف المصادر المائية , وفي الواقع تتفاوت هذه الشوائب بدرجة كبيرة في نفس العينة وفي فترات مختلفة ، وهذه هي الحال خصوصاً مع مياه الجداول الجارية التي قد تُظهر ليس فقط تبدلاً فصلياً في التركيب وإنما تبدلات يومية أو ساعيّة بسبب الهطول المفاجئ للمطر .

وعلى العكس ، قد تكون مياه البحيرات الكبيرة ، والآبار العميقة ثابتة التركيب بشكل ملحوظ حتى خلال سنوات كثيرة .

ومن أجل الأغراض الصناعية يمكن تصنيف الشوائب ، التي قد تكون موجودة في الموارد المائية ، كما يلي :

(1) مادة معدنية منحلة — (2) غازات منحلة

(3) عكارة ورواسب — (4) مادة لونية وعضوية

(5) طعوم وروائح (6) متعضيات مجهرية

وكون هذه الشوائب ضارة أم لا ، يعتمد على :

(1) طبيعة ومقادير الشوائب الموجودة .

(2) الاستخدامات التي يخصص الماء من أجلها .

(3) التفاوتات المسموح بها لمختلف الشوائب ومن أجل كل استعمال .

الموارد المائيـة الخاصــة :

Private Water Supplies

بما أن ضخ الماء أرخص عادة بكثير من شرائه ، لذلك تلجأ الصناعات التي تستخدم الماء بكثرة إلى تطوير مصادر مائية خاصة بها . وفي حالات أخرى تستخدم أيضاً مياه المدن لسدّ النقص في الموارد الخاصة . ومع ذلك فإن الصناعة تستخدم في حالات أخرى مواردها المائية الخاصة لجميع الأغراض . وحيثما تستخدم مياه المدينة في المصنع نفسه ، مع المورد المائي الخاص ، فإنه لا يمكن الاعتماد على الصمامات غير المرجعة ، حتى عند استخدام صمامين منها على التسلسل . فإذا لزم مزج ماء المدينة مع المورد الخاص فإنه يتوجب استخدام خزان مُكمِّل ، تصب فيه مياه المدينة من نقطة مرتفعة بشكل يكفي لاستبعاد التفريغ الرجوعي ، ويجب صنع هذه الوصلات وفقاً لأنظمة السلطات الصحية .

يمكن أن تستمد المصادر المائية الخاصة من :

(1) المصادر المائية الجوفية .

(2) المصادر المائية السطحية .

(3) أو من كلا المصدرين السابقين .

اختبار عينات المصادر المائية الخاصة :

Sampling Of Private Water Supplies

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

عند استخراج الماء من بئر واحدة عميقة ، فإنه تجب مواصلة الضخ طويلاً قبل أخذ عينة الاختيار ، وذلك لضمان الحصول على عينة نموذجية وإذا كانت البئر تستخدم باستمرار ، فإنه يمكن أخذ العينات النموذجية في أي وقت ، باستثناء فترة قصيرة تعقب مباشرة بدء الضخ منها .

أما بالنسبة للآبار الجديدة ، فقد يكون من الضروري استمرار الضخ لعدة ساعات أو حتى لعدة أيام قبل إمكان الحصول على عينة نموذجية . وينصح في هذه الحالات بأخذ العينات على فترات دورية فاصلة ، وسوف تظهر مقارنة التحاليل الوقت الذي تم فيه أخذ العينة النموذجية الصحيحة . إن إجراء تحاليل كاملة لجميع هذه العينات ، هو عادة من قبيل التبديد للوقت والجهد . وبدلاً من ذلك يمكن إجراء قياسات سريعة لواحد أو اثنين من المواصفات ، كالعسرة أو القلوية ، وسيكفي ذلك لمعرفة متى تم الحصول على العينية النموذجية وعندئذ يمكن سحب عينات من أجل إجراء التحليل الكامل .

وعندما يتكون مصدر الماء من عدد من الآبار ، فإنه يجب أخذ العينات النموذجية من كل بئر على حدة ، لأن الماء المستمد من آبار مختلفة قد يكون على الأغلب مختلفاً تماماً في التركيب . وليس سليماً أن نفترض بأن الماء المستخرج من بئرين متجاورين هو نفسه . ويمكن معرفة هذه الحقائق فقط بواسطة التحليل . وإذا كان المستودع الأرضي للماء متفرعاً ويمتد فوق مساحة كبيرة فقد يحدث أن تتشابه تركيباً جميع الآبار التي لها نفس العمق أو حتى لو اختلفت عمقاً . مع ذلك وفي جميع الأحوال يجب أخذ عينات مستقلة واحدة من كل بئر وتحليلها منفصلة .

كثيراً ما تُظهر العينات المأخوذة من المصادر السطحية . إلا إذا كانت من بحيرات أو من مستودعات كبيرة . اختلافات في التركيب , ليست فصلية فقط بل اختلافات يومية أو ساعية , ويجب أن تجمع كافة المعلومات وأن تترجم بطريقة تعبير منسجمة ، حتى ولو لم تتوفر التحاليل المعدنية الكافية .

وينصح بإجراء سلسلة من التحاليل الدورية ، وإذا لم يتوفر الوقت من أجل ذلك فيجب أخذ العينات في أي وقت يتاح . ومن أجل التحاليل المعدنية الكاملة لا يجب أخذ عينات المياه السطحية من مناطق قريبة جداً من الشاطئ .

كثيراً ما يستخدم مصنع ما الماء اللازم مستمداً من مصدرين أو أكثر وتختلف كميات الماء في المزيج من كل مصدر بين حين وآخر في حالات كهذه تجب دراسة تحاليل كل مصدر ومعدل مواصفاته ومختلف النسب التي قد تكون ممزوجة فيها , فإذا استخدمت بدلاً من ذلك مصادر مائية منفصلة ولأغراض مختلفة في نفس المصنع فينبغي عندئذٍ دراسة كل مصدر على حدة فيما يتعلق بصفاته والمتطلبات الضرورية لكل من الاستعمالات .

أخذ العينات من أجل التحليل المعدني الكامل :

Sampling for Complete Mineral Analysis

عند أخذ العينات من أجل هذا التحليل يجب الانتباه ومراعاة عدد من التدابير الاحتياطية السليمة , ولابد من التنويه بأن وجود كميات ولو صغيرة من الوسخ أو الزيت أو الصدأ أو مواداً غريبة أخرى قد تغير النتائج وتؤدي إلى استنتاجات خاطئة . ويصح هذا بشكل خاص على قياسات الحديد (أو المنجنيز) ففي حالات كهذه قد تكون حتى كسور الجزء الواحد من المليون بالغة الأهمية , فعدم الاهتمام بأخذ العينات قد يؤدي إلى نتائج فيما يتعلق بمحتوى الحديد في الماء منافية للعقل أكثر من أي مقوم وحيد آخر لأن الشطف الناقص للأنبوب الذي تؤخذ منه العينة أو أخذها من أنبوب صدئ قد يضيف كمية من الحديد تجعل قياسات الحديد في العينة عديمة المعنى .

عند أخذ عينة الاختبار يجب أن يترك الماء جارياً لفترة طويلة قبل تعبئة الآنية وذلك بغية الحصول على عينة نموذجية , كما يجب أن تكون تلك الأوعية نظيفة , وأن تشطف عدة مرات بنفس الماء الذي يراد أخذ العينة منه وذلك قبل

تعبئتها , وتكفي لمعظم الأغراض قارورة سعة لتر واحد تسد بسدادة جديدة ونظيفة ويجب شطف السدادات قبل استعمالها , وتملأ القارورة إلى ما دون أسفل العنق بمقدار أنش واحد نظراً لضرورة وجود حيزّ هوائي يسمح بتمدد العينة أثناء المعالجة أو أثناء النقل . ولقياس المواصفات العادية في العينة تكفي قارورتان سعة لتر واحد لكل منهما لاحتواء الكمية اللازمة من الماء للاختبار وقد نحتاج لعينة من الماء مقدارها جالون واحد إذا كان الماء يحتوي على المنجنيز , لا يجب استخدام الآنية الزجاجية عندما تكون قياسات السليكا في العينة على جانب من الأهمية كما في حالات الماء المعالج أو معالجة الماء في مراجل الضغط العالي وبدلاً منها يمكن استخدام قوارير من اللدائن أو المبطنة بالشمع عند شحن العينات إلى المختبرات .

عينات لقياسات الغازات المنحلة :

Samples for Dissolved-gas Determinations

عند أخذ العينات من أجل قياسات الغازات المنحلة ينبغي استخدام طرق خاصة وإجراء التحاليل في الحال خصوصاً عند القيام بقياسات كبريت الأكسجين وكبريت الهيدروجين المنحل , وفي الحالتين يجب توجيه الماء عبر أنبوب يصل تقريباً إلى قاع القارورة التي تحتوي على العينة ويسمح له بالجريان خلالها لمدة دقيقة واحدة أو أكثر وذلك اعتماداً على سرعة الجريان ويسحب الأنبوب والماء ما يزال جارياً ، بطريقة لا تسمح بدخول الفقاعات الهوائية إلى العينة .

يمكن أخذ العينة بسهولة عندما يكون الماء الذي نريد اختباره تحت الضغط , وتختلف المسألة إذا لم يكن الأمر كذلك , وفي هذه الحالات يمكن بسهولة إذا كان مستوى الماء فوق مستوى سطح الأرض استخدام نظام سيفوني , أما إذا كان مستواه أدنى من سطح الأرض فمن الضروري استخدام مضخة صغيرة أو وسيلة أخرى للمص أو عدة خاصة بأخذ العينات لجعل الماء يجري خلال قارورة الاعتيان التي يفضل غمرها في الماء .

ويفضل سحب العينات من أجل قياسات ثاني أكسيد الكربون بالطريقة نفسها وإجراء الاختبار عليها حالاً وخصوصاً عندما يكون محتوى العينة منه عالياً . وإذا كان محتوى العينة من ثاني أكسيد الكربون 10 ppm أو أقل فلا حاجة بنا لمراعاة الدقة في اتخاذ التدابير الاحتياطية عند سحب العينات وإنما يجب الانتباه إلى عدم تعريضها للهواء على نحو غير ضروري , لا يمكن التعويل على قياسات ثاني أكسيد الكربون في العينات المشحونة لأن الاختبارات أظهرت أن ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يزداد أو ينقص أثناء الشحن أو أثناء الاستقرار لعدة أيام أو أكثر قبل الاختبار (انظر الفصل 3) .

عينات الاختبارات الجرثومية :

Bacteriological Test Samples

يجب سحب العينات من أجل الاختبارات الجرثومية بعناية تامة وذلك إلى قوارير معقمة تحمى أعناقها وسداداتها من التلوث . ويفضل الحصول على قوارير كهذه من هيئة صحية حكومية رسمية , ويجب أولاً القيام بتعقيم الصنبور أو الحنفية التي ستأخذ منها على مدى عدة دقائق قبل تعبئة القوارير. هذا ولا يجب لمس عنق القارورة أو سدادتها .

ويجب أجراء الاختبار الجرثومي مباشرة بعد أخذ العينة , ولا يجب استخدام مورد مائي لأغراض الشرب إلا بعد الموافقة على استخدامه من قبل هيئة صحية حكومية رسمية مختصة ، إن صفاء الماء أو برودته أو انعدام لونه أو كونه آتٍ من نبع ، لا يضمن سلامة استخدامه لأغراض الشرب .

الموارد البلدية للماء : municipal water supplies

تستخدم الصناعات كما ذكرنا سابقاً الماء من الموارد البلدية للماء , وتحصل بعض الصناعات على جميع مواردها المائية من البلديات في حين تحصل صناعات أخرى على جزء منه من البلديات وعلى الباقي من مصادر خاصة .

وحيثما تحصل الصناعة على كامل حاجتها المائية من البلدية ، فإن تأمين حجم وافر ، تحت ضغط كافٍ لتلبية الحاجات القصوى واتقاء أخطار الحريق . ويستحسن في حالات أخرى استخدام مضخات تعزيز أو أحواض تخزين مرتفعة .

إن القسم الأعظم من الموارد البلدية للماء ، في العديد من دول العالم تكون آمنة من أجل أغراض الشرب . وفي الحالات المشكوك فيها يجب الحصول على المعلومات بصلاحية موارد مائية بلدية معينة للشرب من هيئة حكومية مختصة .

الموارد البلدية المائية غير المعالجة :

Untreated Municipal Water Supplies

إذا كانت هذه الموارد مستمدة من مصدر غير ملوث ، فلا حاجة لمعالجتها . وفي هذه الحال يكون المورد المائي البلدي عملياً من نفس تركيب المورد المائي الخام والاستثناءات من ذلك توجد حيث تؤثر شروط الاختزان والتوزيع على تركيب الماء .

فمثلاً تحدث أحياناً تهوية جزئية ، إذا استخدم صهريج اختزان مرتفع طافي على الخط الفاصل . فمع ماء خام نقي يحتوي ولو على كمية بسيطة من الحديد الذوّاب (بيكربونات الحديدي) ، ستعمل هذه التهوية الجزئية على ترسيب جزء من الحديد ، على شكل راسب بني محمّر (أكسيد الحديد المميّأ) . فينتج عن ذلك أن الماء قد يكون صافياً في لحظة ما عند مجيئه مباشرة من المضخات ، وعكراً في لحظة أخرى عند مجيئه من الخزان . وبعدئذٍ ، عند ما يثار الراسب ، كما يحدث بعد الخض والضخ والحركات الشديدة قد يصبح الماء عكراً جداً ، ليصل إلى ماء وَحِلٍ ، ملون بشدة وغير صالح عملياً للاستخدام .

وهناك استثناء آخر ، حيث يكون الماء الخام خالياً من الحديد لكنه يحتوي على مقادير محسوسة منه عند سحبه من الخط الرئيسي للمدينة فإذا كان الماء الخام من طبيعة أكّالة ، ويحتوي أيضاً على أكسجين منحل ، فسيظهر الحديد

بشكل أكسيد الحديد المميّأ ، ويسبب المظهر (المائي الأحمر) المألوف . أما إذا كان الماء الخام من طبيعة أكّالة ، ولكنه خالٍ من الأكسجين المنحل ، فسوف يوجد الحديد منحلاً بشكل بيكربونات نقية عديمة اللون لكنها مزعجة جداً .

وحتى عند احتواء الماء الخام على كميات بسيطة من العكارة أو عندما لا يكون مما يدعى بالماء العدواني ، فإن بعض العكارة ، أو الذرات الصدئة ، أو رواسب الحديد ، قد تظهر أحياناً عند الخض والضخ والتحركات الشديدة . وهناك أيضاً استثناء آخر وهو عندما تظهر ناميات عضوية ، مثل كرينوثريكس *Crenothrix* الحديد أو المنجنيز في جهاز التوزيع تميل هذه الناميات إلى التفكك على شكل كتل كبيرة ، قد تسدّ العدادات وشبكة الأنابيب وتصبغ المواد التي تكون على تماس معها .

معالجة الموارد المائية البلدية :

Treated Municipal Water Supplies

يمكن معالجة هذه الموارد بالكلور ، أو بالتهوية ، أو بالترشيح أو بالتيسير . وتعالج بالكلور معظم موارد الماء البلدية ، وخصوصاً إذا كانت سطحية الأصل، سواء خضعت أو لم تخضع لأي معالجة أخرى . وتستخدم جرعات الكلور عادة بكميات قليلة جداً بحيث لا تؤثر على المادة المعدنية الموجودة في الماء رغم جعلها الماء صالحاً لأغراض الشرب .

إن معالجة ماء بعض المصادر المائية السطحية عادة بالكلور ، تسبب طعماً ورائحة غير مرغوبين . ويعزى (طعم الكلور) المعروف إلى تأثير الكلور على بعض الشوائب العضوية الموجودة في الماء ، فتتشكل بذلك مركبات ذات طعم ورائحة شديدين ، يمكن الإحساس بها حتى ولو كانت جزءاً واحداً في المليون .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

إن أكثر المصادر المائية البلدية التي تخضع للترشيح تكون نقية ضعيفة اللون . فإذا تمت معالجتها أيضاً لجعل صبيب الترشيح غير عدواني ، فإن المادة المعلقة قد تكون طفيفة جداً بحيث لا يكون لها تأثير على أكثر الاستخدامات الصناعية . وإضافة إلى ذلك تستخدم عدد من البلديات التي تعالج الماء , الكربون المنشَّط لإزالة الرائحة والطعم وذلك كإجراء وقائي .

لقد استخدم إجراء التهوية في كثير من البلديات لمعالجة المياه البلدية ويمكن القيام بذلك الإجراء منفرداً لإنقاص محتوى الماء من كبريت الهيدروجين ولإضعاف كل من الطعم والرائحة ، أو بإشراك هذا الأجراء مع عملية الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز .

ويمكن في حالات كهذه إضافة الكلس أيضاً وخصوصاً لإزالة المنجنيز ، أو لتنظيم الرقم الهيدروجيني (PH) ، وقد تزيد هذه الإضافات عسرة الماء ما لم تستخدم عملية التيسير الجزئي للماء .

تليين (تطرية) الموارد المائية البلدية :

Softened Municipal Water Supplies

يفضل أن يدرس تيسير المياه البلدية بصورة منفصلة عن أشكال المعالجات الأخرى لهذه المياه ، وذلك لما له من تأثير كبير على محتواها من المعادن المنحلة . وتقوم أكثر من 1000 بلدية في الولايات المتحدة الأمريكية ، بمعالجة تيسير جزئية للإمدادات المائية .

وعموماً لا تقوم هذه البلديات بمحاولة لتليين الماء بصورة كاملة ولكنها تقوم بدلاً من ذلك بتخفيف عسرة الماء إلى حوالي 85 ppm (5غ / جالون) . ويقوم بعضها بالتخفيف إلى درجة 135 ppm (8غ / جالون) ، أو إلى درجة وسيطة . وهناك بلديات تقوم بتخفيف عسر الماء إلى ما دون 85 ppm (5غ / جالون) كما أن بعض البلديات تزيل عسر الماء بصورة كاملة والماء الميسر جزئياً قد

يكون مناسباً جداً لأكثر الاستعمالات المنزلية ، لكن معظم الاستخدامات الصناعية تحتاج إلى تيسير الماء إلى درجة أبعد .

معالجة الإمدادات المائية البلدية بمركبات الفلور :

Fluoridated Municipal Water Supplies

يلجأ اليوم عدد كبير من البلديات إلى معالجة الإمدادات المائية بمركبات الفلور ، كإجراء صحي لوقاية الأسنان ، واتسع استخدام هذا الإجراء بصورة سريعة . وتضاف من أجل ذلك كمية بسيطة جداً من الفلوريد ، كتركيز نهائي في الماء المعالج ، تبلغ فقط 0.7 – 1.1 ppm ويعبر عنها بـ F (فلور) . انظر (الفلوريد) ، في الفصلين 2و7 .

تحليل الإمدادات البلدية من الماء :

Sampling Of Municipal Water Supplier

حيث يستخدم المورد البلدي من الماء في الصناعة ، يمكن سحب العينات للتحليل من أي صنبور مناسب ، ومن الضروري تماماً ترك الماء جارياً لمدة عدة دقائق قبل أخذ العينة مع مراعاة التدابير الاحترازية العادية في ذلك .

إذا كان المورد المائي البلدي مستمداً من بحيرة كبيرة أو من آبار عميقة من المستودع الجوفي الأرضي المائي ذاته فقد يكون تركيب الماء ثابتاً على نحو مثير للانتباه أما إذا استمد الماء من حقول آبار مختلفة أومن مصادر متعددة أو من خزاناًت متنوعة أومن أنهار أو جداول فيجب أن نتوقع اختلافات في التركيب وينبغي معرفة هذه الاختلافات والقيام بسلسلة من التحاليل الدورية .

تحاليل الماء : طرق التعبير :

Water Analyses: Methods Of Expression

لقد قيل على سبيل السخرية أن هناك طرقاً للتعبير عن تحليل الماء بعدد الكيمائيين الذين يقومون بتلك التحاليل . وعلى الرغم من المبالغة التي يحملها هذا القول إلا أنه ينطوي على حقيقة هامة ولكن هذا لا يعني أن النتائج التحليلية غير

صحيحة ، لأنها تُجرى بطرق وتحاليل قياسية لعينة الماء نفسها ، من قبل عدد من كيميائيين متنافسين في تحاليل الماء ، والتي ينبغي لها عندما تترجم إلى صيغة التعبير نفسها ، أن تتوافق إلى الحد الذي تسمح به الأخطاء التجريبية .

والنتائج المتعارضة ، ليست نتائج واقعية بل على الأصح طريقة التعبير عنها هي غير الواقعية وقد تكون معقدة جداً ويظهر الجدول 1 ـ 1 كمية الكلسيوم نفسها في 28 صيغة مختلفة وقد يعبر عنها أيضاً بمكافئات بالمليون (e p m) أو بميلي مكافئات في اللتر(m eq / L) وهي طرق مختلفة للتعبير عن الكمية العددية نفسها وفي هذه الحال فإن مكافئين في المليون (أو2 ملي مكافئ / لتر) تساوي 29 دسجايز disguises .

الجدول 1. 1 كمية الكالسيوم نفسها يعبر عنها بـ 28طريقة مختلفة

الاسم	الصيغة	أجزاء في المليون	أجزاء في 100.000	قمحة في الجالون الأمريكي	قمحة في الجالون الإمبراطوري
كالسيوم	Ca	40	4	2.3	2.8
أكسيد الكالسيوم	$Ca\,O$	56	5.6	3.3	3.9
كربونات الكالسيوم	$Ca\,CO_3$	100	10	5.8	7
بيكربونات الكالسيوم	$Ca(HCO_3)_2$	162	16.2	9.4	11.3
كلور الكالسيوم	$C_2\,Cl_2$	111	11.1	6.5	7.8
كبريتات الكالسيوم	$Ca\,SO_4$	136	13.6	8	9.5
نترات الكالسيوم	$Ca\,(NO_3)_2$	164	16.4	9.5	11.5

وحدات تحليل الماء : Water Analyses Units

هناك من الناحية العددية أربع وحدات أساسية فقط لتحليل الماء على الرغم من وجود أسماء ستة لها وهي :

أولاً : أجزاء في المليون (ppm) = عدد أجزاء المادة في مليون جزءاً من الماء . ولهذه الوحدة ذاتها اسمان آخران أيضاً هما : ملي غرامات في اللتر (mg

L /) أو غرامات في المتر المكعب (g / m^3) والأسماء الثلاثة متساوية عددياً .

ثانياً : قمحات Grains في الجالون الأمريكي (g p g) = عدد قمحات المادة في الجالون الواحد الأمريكي من الماء , (القمحة =7000/1 باونداً ، وجالون أمريكي واحد من الماء يزن 8 . 33باونداً) .

ثالثاً : أجزاء في 100.000 (Pts / 100.000) = عدد أجزاء المادة في 100.000 جزءاً من الماء .

رابعاً : قمحات في الجالون الإمبراطوري (g p g imp) = عدد قمحات المادة في الجالون الملكي البريطاني من الماء , (القمحة = 1 /7000 باونداً وجالون ملكي واحد من الماء يزن 10 باونداً) .

يبين الجدول 2.1 العلاقات المتبادلة بين هذه الوحدات الأساسية والمكافئات الأخرى كباوندات في 1000 جالوناً و1000.000 جالوناً من جالونات الولايات المتحدة والجالونات الإمبراطورية . إن الوحدة المستعملة على نطاق واسع هي الأجزاء في المليون , وتستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية وحدة أخرى على نحو شائع وخصوصاً للتعبير عن عسر الماء هي القمحات في الجالون الأمريكي , والوحدة المستخدمة على نطاق واسع لنفس الغرض في البلدان الأخرى الناطقة بالإنكليزية هي القمحات في الجالون الملكي . هذا وقد باتت الوحدة أجزاء في مائة ألف أقل استخداماً في هذه الأيام نظراً لاستبدالها بوحدة الأجزاء في المليون أو بمكافئتها .

وسوف نستخدم خلال كامل هذا النص الأجزاء في المليون (ppm) و القمحات في الجالون الإمبراطوري (g p g imp)

ملاحظة :عند القيام بتحليل الماء العذب ، تقاس العينات بالحجم ، في درجة الحرارة السائدة , وليس بالوزن . ومن الناحية العملية لا تُجرى أبداً التصحيحات من أجل درجة الحرارة والوزن النوعي (تستثنى من ذلك المياه والمحاليل المالحة) ، ويفترض أن لتراً واحداً

يزن كيلو غراماً واحداً ، وأن جالوناً أمريكياً واحداً يزن 8 . 33 باونداً ، وأن الجالون الملكي البريطاني يزن 10 باونداً .

الجدول 2.1 وحدات تحليل الماء : علاقات متبادلة ومكافئات

1. جزءاً في المليون(ppm)

= 1ملغ / ل
= 1غ / م^3
= 0.1 جزءاً /100.000
= 0.0583 قمحة / في الجالون الأمريكي
= 0.00833 = 8.33 باونداً /1000000 جالون أمريكي
= 0.07 قمحة / في الجالون الإمبراطوري
= 0.01 باونداً /1000 جالون إمبراطوري
= 10 باونداً /1000.000 جالون إمبراطوري

1. قمحة في الجالون الأمريكي (g p g)

= 17.1 جزءا /1000.000
= 17.1 ملغ / ل
= 17.1غ/م^3
= 1.71 جزءاً /1000.000
= 0.143 باونداً /100 جالون أمريكي
= 143باونداً /1000.000جالون أمريكي
= 1.2 قمحة / جالون إمبراطوري
= 0.171 باونداً /1000جالون إمبراطوري
= 171 باونداً /1000.000 جالون إمبراطوري

1. جزءاً في 100.000 (pts 100000)

= 10 جزءا /1000.000
= 10ملغ / ل
= 10غ / م^3
= 0.583قمحة / جالون أمريكي
= 0,0833 باونداً /1000 جالون أمريكي
= 83,3 باونداً /1000000 جالون أمريكي
= 0.7 قمحة / جالون إمبراطوري
= 0,1 باونداً /1000 جالون إمبراطوري
= 100باونداً/1000.000 جالون إمبراطوري

---

1. قمحة في الجالون الملكي البريطاني

= 14.3جزءاً /1000.000
= 14.3ملغ / ل
= 14.3غ / م^3
= 1.43جزءاً / 100.000
= 0.833 قمحة / جالون أمريكي
= 0.119 باونداً /1000.000جالون أمريكي.
= 199 باونداً /1000.000جالون أمريكي
= 0.143 باونداً /1000 جالون أمريكي
= 143باونداً /1000.000 جالون إمبراطوري

التعبير عن تحاليل الماء كمكافئات كربونات الكالسيوم :

Water Analyses Expressed as Calcium Carbonate ($CaCO_3$)

من الممكن حتى استخدام وحدة أساسية واحدة مثل وحدة الأجزاء في المليون للتعبير عن جزء الكلسيوم أو عن كامل أجزائه بعدة طرق مختلفة تستخدم كل منها رقماً عددياً مختلفاً للتعبير عن الكمية المكافئة من الكالسيوم .

وبصورة مماثلة إذا سجلنا مكافئات المغنيزيوم سيكون لدينا سبعة منها مما يجعل إجمالي الطرق المختلفة أربع عشرة طريقة للتعبير عن اثنين من المقومات يفسران مع بعضهما عسر الماء , وبما أن حسابات معالجة الماء كانت شديدة التعقيد فقد تقرر في وقت مبكر أن يعبر عن العسر الإجمالي في الماء بمكافئ كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وذلك لجميع مقومات العسرة . وتشكل كربونات الكالسيوم مقياساً معيارياً مناسباً كما أنها تحمل الرقم 100 كوزن جزيئي وهو رقم صحيح لطيف يسهل تذكره وهو رقم كبير بما يكفي ، بحيث تبدو النتائج من الناحية العلمية كأعداد صحيحة . ومن هنا بات من المألوف التعبير عن إجمالي العسرة ، عسرة الكالسيوم ، وعسرة المنغنزيوم على أساس مكافئاتها $CaCO_3$ ثم وُسِّع هذا المكافئ ليشمل ثلاثة أشكال من القلوية هي : البيكربونات ، والكربونات والهيدروكسيد . وقد اكتشف فيما بعد ، أن من المناسب توسيعه ليشمل الحمضية المعدنية التي قد تظهر أيضاً كـ (كقلوية سلبية) .

وقد بات من الشائع في الوقت الحاضر التعبير عن كاتيونات Cations الكالسيوم ، والمغنزيوم , والصوديوم ، وعن العسورة الكاملة ، وعن القلويات : البيكربونات ، والكربونات و الهيدروكسيد ، وعن أنيونات Anions الكبريتات ، الكلوريد , والنترات ، والحمضية المعدنية بلغة مكافئاتها من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وذلك لتبسيط الحسابات المستخدمة في معالجة الماء . ومن جهة أخرى يعبّر عادة عن ثنائي أكسيد الكربون الحر وعن الحديد والمنجنيز

والسيلكا والفلوريد كـ Fe, Mn , SiO , F , CO_2 على التوالي ويقوم شكل التحليل الذي يظهر في الجدول 1 . 3 التالي على أساس هذا النظام:

الجدول 1 . 3 استمارة تحاليل المياه

الاسم : تاريخ استلام العينة : عينة رقم :

العنوان : تاريخ أخذ العينة : تاريخ التحليل :

نسخة إلى :

		ppm كـ	
الكاتيونات	كالسيوم Ca^{++}	$CaCO_3$	
	مغنيزيوم Mg^{++}	$CaCO_3$	
	صوديوم Na^{+}	$CaCO_3$	
الأنيونات	بيكربونات HCO_3^{-}	$CaCO_3$	
	كربونات HCO_3^{--}	$CaCO_3$	
	هيدروكسيد OH^{-}	$CaCO_3$	
	كلوريد Cl^{-}	$CaCO_3$	
	كبريتات SO_4^{--}	$CaCO_3$	
	القساوة الكلية	$CaCO_3$	
	الكلوريد (ميثيل أورانج)	$CaCO_3$	
	الكلوريد (فينول فثالين)	$CaCO_3$	
	ثاني أكسيد الكربون الحر	CO_2	
	الحديد الكلي	Fe	
	السيليكا	SiO_2	
	العكارة (بعد الخض)		
	اللون		
	PH		
القساوة الكلية كـ $CaCO_3$			
القساوة المؤقتة كـ $CaCO_3$			

التعبير عن تحاليل الماء في مكافئ في المليون أو ميلي مكافئات في اللتر :
Water Analyses Expressed as Equivalents per Million Or Mille Equivalents per Liter:

إن الوحدتان : المكافئات في المليون (e p m) أو الميلي مكافئات في اللتر (m eq / L) متساويتان عددياً . وللتعبير عن مقدار المادة الموجودة بلغة هذه الوحدات يقسم عدد الأجزاء في المليون (ppm) من المادة الموجودة على وزنها المكافئ أو الأوزان المكافئة للكاتيونات والأنيونات الشائعة في الماء هي : الكالسيوم 20 ، المغنيزيوم 12 ، الصوديوم 23 ، HCO_3 61 ، CO_3 30 ، OH 17 ، SO_4 48 ، الكلور 35.5 ، و NO_3 62 .

ومع أن المكافئات في المليون والميلي مكافئات في اللتر ، تستخدم إلى حد ما إلا أن استخدامها أضيق من استخدام مكافئات كربونات الكالسيوم والاعتراض الرئيسي على استخدامها كونها غير ملائمة . فمع هذه المكافئات يظهر كثير من الأرقام على يمين الفاصلة العشرية أما مع مكافئات كربونات الكالسيوم وخصوصاً عند التعبير عنها بأجزاء في المليون فتظهر معظم الأرقام كأعداد صحيحة .

عسر (قساوة) الماء : طرق التعبير :
Water Hardness: Methods Of Expression

إن أشيع الطرق للتعبير عن عسر الماء تكون بمكافئه $CaCO_3$ في أجزاء بالمليون أو قمحات في الجالون الأمريكي أو أجزاء في مائة ألف أو قمحات في الجالون الإمبراطوري ، أو إلى حد ما في أجزاء بالمائة ألف .

وفي البلدان الأخرى الناطقة بالإنكليزية تستخدم على نطاق واسع درجة كلارك clark أو الدرجة الإنكليزية *English degree* ويعبر عنها كـ $CaCO_3$ في قمحات في الجالون الملكي الإنكليزي . وفي فرنسا تستخدم الدرجة الفرنسية على نطاق واسع ويعبر عنها كـ $CaCO_3$ في أجزاء بالمائة ألف . وتستخدم في ألمانيا الدرجة الألمانية على نطاق واسع وتعطى كـ Ca O في أجزاء بالمائة ألف .

وتوجد جداول خاصة للتحويل من نظام إلى آخر . ويعبر أيضاً عن عسر الماء ، إلى حد ما بمكافئات في المليون (أو بالميلي مكافئات في اللتر) .

وفي التعبير عن نتائج تحليل الماء ، لا ينبغي إعطاء أكثر من أرقام مهمة ثلاثة ، لأن الطرق المستخدمة لا تسمح باستعمال عدد أكبر ولذلك إذا كان عامل ما سيؤدي إلى رقم مثل : 214.6 ppm، فإنه يجب أن يجبر إلى 215 ppm وفي الواقع يمكن أن يسمح من أجل دقة القياسات برقمين مهمين والعوامل والمكافئات الكيميائية أيضاً التي تستخدم في حسابات معالجة المياه لا ينبغي أن تتكون من أكثر من ثلاثة أرقام مهمة ومن هنا يمكن أن يؤخذ الرقم 100 بدلاً من الرقم 100,09 كوزن جزيئي لكربونات الكالسيوم ويمكن جبر عامل تحويل Ca إلى $CaCO_3$ إلى 2,50 بدلاً من الرقم 2,479 الأكثر دقة .

طرق قياسية لتحليل الماء :

Standard Methods Of Water Analysis

في الممارسة العملية يتم إجراء معظم القياسات عادة بطرق القياس الحجمي واللوني وقياس العكارة وتأتي النتائج صحيحة بما يكفي لتلبية كافة الأغراض العملية عندما يقوم بها كيميائيون مجربون , وفي المختبرات الكبيرة يستفاد على نطاق واسع من الفوتومتر اللهبي , والمقياس اللوني الكهروضوئي , وأدوات التوصيل الكهربائي النوعي , والرقم الهدروجينيPH .

وكما لاحظنا سابقاً في تحليل المياه العذبة في المختبرات أو في الحقل فأن العينات تقاس بالحجم لا بالوزن ويفترض أن جزءاً واحداً في المليون يترادف مع 1ملغ / لتر أو بمعنى آخر أن اللتر الواحد يزن كيلو غراماً واحداً . كما أن هذه القياسات الحجمية تُجرى في ظروف ما يدعى بدرجة الحرارة العادية مع عدم إدخال أية تصحيحات على هذه الدرجات وعلى الأوزان النوعية ولا يعتبر هذا الإجراء صحيحاً من الناحية العلمية ، لكن هذا ليس مهماً لأن الأخطاء التي قد ترتكب تجريبياً في إعداد القياسات هي أكبر من الأخطاء المرتكبة عن طريق هذه

الافتراضات . وفي حالة المياه عالية الملوحة ينصح بإدخال التصحيحات على درجات الحرارة والأوزان النوعية ، سواء كنا سنعبر عن النتائج بأجزاء من المليون وزناً أو في وحدات من الحجم في درجة حرارة قياسية .

تحاليل المياه وخواصها من مختلف المصادر:

Analyses And Characteristics Of Waters from various

المياه الجوية (مطر ، ثلج ، قطقط ، بَرَد) :

(Rain - Snow - Sleet - and Hail)

تعبير يستخدم للمصدر الأساسي لجميع مواردنا من الماء أي للرطوبة المتساقطة من الجو واعتماداً على الظروف الجوية قد تتساقط الرطوبة الجوية على شكل مطر أو قطقط أو ثلج ، أو بَرَد . وهي عندما تتساقط لا تصبح على تماس فقط مع الغازات التي يتألف منها الجو بل أيضاً مع المادة الصلبة العالقة في الهواء كالغبار والأوساخ والسخام والشوائب الأخرى ولهذا السبب فإنها تحتوي إضافة إلى الغازات المنحلة مادة معدنية كانت قد انحلت من هذه الشوائب العالقة .

ومن الواضح أن الجزء الأول الساقط سوف يحمل قسماً من المادة المعدنية أكبر من الجزء الذي يسقط بعده لأن هذا سوف يعبر سماءً مغسولة . فعملياً قد يحتوي الجزء الأول على أكثر من ppm 150 (9غ / جالون) من المادة المعدنية ولكن مما يدعو إلى الدهشة أن استمرار هطول المطر على مدى ساعات كثيرة لا يزيل تماماً المادة العالقة من الجو .

ويحتوي الثلج والبَرَد أيضاً أو على الأصح ، الماء الناتج عن ذوبانهما على مادة معدنية منحلة . ولكن أيضاً الثلج الذي يسقط فوق المرتفعات العالية ، يحتوي على كمية من المادة المعدنية أقل من تلك التي يحتويها الثلج الذي يسقط فوق الأراضي المنخفضة وذلك يعزى إلى قلة الغبار في الجو فوق المرتفعات . فالجداول الجبلية التي تستمد مياهها من هذه الثلوج الأكثر نقاء تحتوي على كمية

خفيفة جداً من المادة المعدنية . وفيما يخص الغازات المنحلة فإن ماء المطر يكون مشبعاً بالهواء المنحل (20ـ 29مل / ل تقريباً بدرجة 32ـ60 ف) ، ولكن الجزء المنحل من الأوكسجين ، يكون هنا أعلى بكثير منه في الهواء الجوي . وقد أدرجنا في الجدول 8 . 3 ، في الفصل الثالث ذوآبية الهواء في الماء وتركيبه في مختلف درجات الحرارة . وفيما يتعلق بمحتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق فإن عدداً محدوداً من التحاليل الفورية يظهر ppm 6 - 2 منه وأن أي زيادة منه فوق ppm 2 - 1 لا تعزى إلى ثاني أكسيد الكربون المستمد من الجو بل إلى ثاني أكسيد الكربون المستمد من محتوى المادة العضوية .

قد يكون المطر الساقط فوق المدن حمضياً أحياناً بسبب حمض الكبريتي المتولد من الغازات المنبعثة من الوقود المحترق

إن ماء مطرياً بمثل هذه الحموضة أكّال جداً لمعظم المعادن . كما يمارس تأثيراً مضعفاً على المواد القابلة للغسل ، ومن أجل ذلك ابتكر هناك اسم (البلى الشتوي) للملابس ومن الجدير بالذكر أن هذا لا يحدث للملابس التي تغسل في المنزل وتجفف في العراء .

فإذا تعرضت الملابس ، في ظل ظروف كهذه إلى البلل ، أو إذا امتصت الملابس الرطبة الحمض من الجو فأن الحمض المخفف بدرجة كبيرة أصلاً سوف يتركز بما يكفي لممارسة تأثير مضعف على الملابس .

مياه الخزانات *Cistern water* :

تطلق هذه التسمية على مياه الأمطار التي تجمع من الأسطح وتختزن في خزاناًت . ومع أن هذه المياه تستخدم على نطاق واسع للأغراض المنزلية ، إلا أنها لا تستخدم في الأعمال الصناعية إلا على نطاق ضيق , وكان هذا النوع من المياه ضرورياً في بعض الحالات نظراً لشحّ الموارد الأخرى أو لعدم وجودها أصلاً , وفي حالات أخرى استخدمت مياه الخزاناًت تحت تأثير انطباع خاطئ هو أنها مساوية ،

من الناحية النوعية للماء المقطر . كما استخدمت في حالات أخرى لتخفيف الماء الذي يحتوي نسبة عالية من الجوامد .

إن مياه الخزاناًت عموماً ، أكثر عسراً من مياه المطر وأعلى محتوى في إجمالي الجوامد . ويعزى ذلك إلى تراكمات الغبار فوق أسطح الجمع وإلى اكتساب العسرة والمادة المعدنية الأخرى من جدران الخزاناًت , ولكن عسرة هذا النوع من الماء تتفاوت بشكل عام .

ومن أجل الاستخدامات الصناعية إذا شطفت السطوح بأول جزء من المطر الساقط قبل جمع الباقي وعولجت جدران الخزان بعامل جيد صامد للماء ، فإن العسرة قد تتراوح عندئذ بين 50 ppm - 15 تقريباً (3.1 غ / جالون) .

تحمل مياه الخزانات غالباً تعدادات جرثومية أعلى عادة . وعلى الرغم من كون متعضياتها غير ممرضة عادة وكثيراً ما تستخدم لأغراض الشرب ، فإنه يستحسن أن تعالج بالكلور ، وأن يتم ترشيحها قبل الشرب . ويلاحظ أيضاً من تحاليل مياه الأمطار أن مياه الخزاناًت ، لا تكافئ نوعياً الماء المقطر أو الماء المجرد من المادة المعدنية .

المياه السطحية والمياه الجوفية :

Surface Waters and Ground Waters

عندما يتلامس ماء المطر أو الماء المتشكل من ذوبان الثلج أو الجليد مع الأرض ، يتبخر بعضه ويتجمع البعض الآخر أو يسيل فوق السطح فيغوص بعضه في باطن الأرض .

وتطلق تسمية المياه السطحية : على المياه التي تتجمع أو تجري فوق سطح الأرض ، مشكلة البحيرات أو البرك أو الخزاناًت أو الأنهار أو الجداول أو الغدران .

أما المياه التي تغوص إلى باطن الأرض وتنبثق على شكل ينابيع أو تبزل بواسطة الآبار ودهاليز الترشيح فتدعى بالمياه الجوفية .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

يحمل الماء خواصاً مذيبة عالية ويميل إلى إذابة وتفتيت المواد التي تتلامس معه . وتزداد خواص الإذابة والتفتيت شدة بالنسبة لبعض المعادن بوجود ثاني أكسيد الكربون في الماء . فمثلاً قد يكون الحجر الكلسي والطباشير والدولوميت والمغنسيت ذوّابة في الماء ، وقد تزداد ذوبانيتها مائة مرة اعتماداً على كميات ثاني أكسيد الكربون الموجودة . كما يحمل الماء الذي يحوي على ثاني أكسيد الكربون تأثيراً مفتتاً على الصخور السيليكاتية أكبر من تأثير الماء النقي , ومن ناحية أخرى لا يحتاج الماء إلى ثاني أكسيد الكربون لحل كبريتات أو كلور أو نترات الكالسيوم أو المغنيزيوم أو الصوديوم .

تستمد كمية بسيطة من ثاني أكسيد الكربون هذا من الجو لأنه يحتوي عادة على حوالي 0.035% فقط (انظر الجدول 3 . 2 في الفصل الثالث) .

وفي درجات الحرارة العادية ، يمكن للمطر أو للطبقات الرقيقة من المياه السطحية أن تحل أقل من 2 ppm من ثاني أكسيد كربون الجو ويكفي هذا لتشكيل أقل من 5 ppm من البيكربونات . مع ذلك سوف تظهر المعاينة لمختلف تحاليل الماء في هذا الفصل ، أن كثيراً منها يشتمل على محتوى من البيكربونات يزيد على 200 ppm ، وعدداً مهماً يزيد محتواه على 300 ppm ، ومن الواضح أن ثاني أكسيد الكربون المستمد من الجو تافه الأهمية في تشكيل كميات كهذه من البيكربونات . لكنها تستمد في معظمها من عمليات التحلل التي تصيب المادة العضوية وخصوصاً في الطبقات العليا من التربة . ثم أن المياه الجوفية قد تكتسب ثاني أكسيد الكربون الطليق وستدرس هذه الناحية بتفصيل أكثر في الفصل الثالث

وبصورة عامة ، تكون المياه الجوفية في منطقة ما ، أعلى في محتواها المعدني من المياه السطحية في المنطقة نفسها ، وذلك لتلامسها الوثيق والأطول مع الطبقات الصخرية . هذا إلا إذا نشأت المياه السطحية في منطقة صخور ذوّابة نسبياً وجرت بعد ذلك عبر صخور غير ذوّابة نسبياً وفي هذه الحال تكون المياه الجوفية في المنطقة الثانية أدنى في محتواها المعدني من المياه السطحية .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

تمارس الطبقات الأرضية على المياه التي تتخللها ببطء عملية الترشيح والامتزاز والتصفية ومن هنا يمكن على الرغم من ازدياد محتواها المعدني الذوّاب أن يتناقص إلى حد كبير لونها ومادتها المعلقة ومحتواها الجرثومي . ولذلك تكون مياه البئر العميقة شفافة عادة وعديمة اللون , وخصوصاً في المناطق ذات التربة الكلسية ، إنما لا ينبغي استخدام هذا الماء لأغراض الشرب بدون معالجة، إلا بعد إجراء الفحص الجرثومي والكيميائي الدوري . كما ينبغي إعداد اللازم للتخلص من خطر التلوث الذي قد ينشأ عن طريق رشح الماء من السطح نزولاً حول قميص البئر .

إن درجة حرارة المياه في البئر العميقة ثابتة تقريباً وبصورة عامة تكون درجة حرارة المياه الآبار ذات العمق 60.30 قدماً ، أعلى بمقدار ْ3.2 فهرنهايت من المعدل الوسطي السنوي لدرجة حرارة الجو في ذلك الموقع ، وتزداد هذه الدرجة بمقدار ْ1 فهرنهايت مع كل 64 قدماً عمقاً .

ومن جهة أخرى تخضع درجة حرارة المياه السطحية لتبدلات واسعة , إذ يتراوح الحد الأعلى لدرجة الحرارة في الصيف من ْ36 . ْ60 ف ، فوق الحد الأدنى لدرجة الحرارة شتاء وهذا مهم خصوصاً فيما يتعلق بمياه التبريد (انظر الفصل 9) .

يشيع وجود الناميات العضوية في المياه السطحية وكثيراً ما تضفي هذه على الماء طعماً ورائحة كريهين وبالمقابل فإن المياه الجوفية تخلو عادة من هذه الناميات والطعوم والروائح . وتستثنى من هذا بصورة رئيسية مياه الآبار القليلة العمق التي تحوي ناميات جرثومية من الحديد والمنجنيز . أما الإستثناءات بالنسبة للطعم والرائحة فهي المياه الكبريتية التي تحمل طعماً ورائحة كريهين .

المياه السطحية Surface Waters

الجداول Streams والأنهار Rivers :

أن المحتويات الدنيا والقصوى لمختلف المقومات في مياه الجداول والأنهار هي كما تظهر في الجدول 4 . 1 . كما نلاحظ أيضاً أن هناك إضافة إلى المعدلات الواسعة في إجمالي المادة المعدنية الموجود في هذه الأنهار تفاوتاً كبيراً في النسب النسبية لمختلف المقومات .

فيذكر دائماً مثلاً أن ثلث العسرة الكليّة في المتوسط تعزى إلى وجود المغنزيوم ومع ذلك أن معاينة العسرة في مياه هذه الأنهار ستبين أن نسب الكالسيوم والمغنزيوم تتفاوت كثيراً حتى أن المغنزيوم قد يشكل نسبة من 47.7% من العسرة الكلية في بعض هذه المجموعة من الأنهار .

إضافة إلى ذلك وكما سنرى في الفصل الثاني فإن مختلف المقومات في نهر ما سوف تختلف في قيمها إلى حد ما , وليس من الضروري أن تكون هذه المقومات موجودة في النسب النسبية ذاتها في كل الأوقات , ولذلك يتضح لنا أن كل جدول أو نهر يحتاج إلى فحص مستقل بحيث تكون المعالجة ووسائلها مناسبة ومرنة بما يكفي للتعامل مع الاختلافات التي ستظهر في التركيب .

تشكل الأنهار الكبيرة عادة مورداً مائياً جديراً بالثقة هذا هو الواقع ، إنما لا يجب اعتباره كمسلّمة .

أما الأنهار الصغيرة والخلجان والجداول فينبغي إجراء دراسات لمنطقة الصرف المتضمنة ، و لكميات الأمطار الفصلية الهاطلة واختلافاتها ، ولكميات الصرف السطحي الذي يمكن توقعه في تلك المنطقة ويمكن الحصول من دراسة كهذه على صورة جيدة جداً لدفق التيار واستخلاص الاستنتاجات حول ما إذا كان احتجاز الماء ضرورياً .

جدول 4 . 1 يبين متوسط الحدود الدنيا والعليا لمعظم الأنهار

	الدنيا	العليا
القساوة (Ca & Mg) كـ ppm $CaCO_3$	15	580

الكالسيوم (Ca)	11	408
المغنزيوم (Mg)	3	181
الصوديوم والبوتاسيوم كـ ppm $CaCO_3$	4	774
البيكربونات (HCO_3) كـ ppm $CaCO_3$	15	256
الكلوريد كـ ppm $CaCO_3$	1	702
الكبريتات (SO_4) كـ ppm $CaCO_3$	4	473
النيترات (NO_2) كـ ppm $CaCO_3$	0.1	10
الحديد كـ Fe	0.02	3
السيليكا كـ ppm SiO_2	8	48

البحيرات والبرك والسدود السطحية Lakes, Ponds, and Reservoirs

أن مياه البحيرات بشكل عام أقل خضوعاً للتغيرات السريعة في التركيب من مياه الأنهار . كما أن كثيراً من البحيرات ثابتة في تركيبها بشكل يدعو للملاحظة على مدى فترة طويلة من الزمن , ويصح هذا بشكل خاص على البحيرات الكبيرة التي تستمد منها كثير من الصناعات الضخمة موردها المائي, وفي حالة البحيرات البرك والخزاناَت الصغيرة يكون بعضها ثابتاً جداً في تركيبه بينما يظهر البعض الآخر تغيرات فصلية مهمة . وتعمل البحيرات بسبب مكونها النسبي كأحواض استقرار فعالة وتكون عكارتها ضعيفة عادة في معظم الأوقات.

ولكن بما أن الماء يبلغ أقصى كثافة له عند درجة 39.2 ف ، فإن الحركات العمودية للماء تنتج عن المياه السطحية الأكثر سخونة وبردت إلى هذه الدرجة أو عن المياه السطحية الأكثر برودة وسخنت لهذه الدرجة . ويعرف هذان المتغيران بانقلابي الخريف والربيع على التوالي وفي هذه الأوقات قد تصبح مياه البحيرات عكرة جداً , والعواصف أيضاً قد تعكر مياه البحيرات بشكل سيء . وقد أتينا على معالجة هذه الناحية بصورة أكثر تفصيلاً تحت عنوان (العكارة والرواسب) في الفصل الرابع .

ومن المستحسن إجراء دراسة كاملة عن منطقة الصرف المتضمنة وكمية الأمطار الهاطلة ، وتبدلاتها الفصلية وكمية الصرف السطحي للمنطقة ومعدل الكمية التي سوف تضيع بالتبخر . وفي حالة المشاريع الجديدة سوف تكشف دراسة كهذه ما إذا كان المورد المائي إياه غزيراً ، بما يكفي لتأمين كافة الحاجات الحاضرة والمستقبلة المقدرة . وستدل العينات التي تؤخذ بصورة دورية على التبدلات التي يمكن توقعها في التركيب .

المياه الجوفية Ground waters

الينابيع Springs :

حملت الينابيع دائماً سحراً مميزاً بالنسبة للجنس البشري ، الأمر الذي قاد إلى اعتقاد خاطئ ، بأن مياه الينابيع شفافة عديمة اللون بشكل رائع وأنها نقية تماماً ، وهي لا تفيد لأغراض الشرب فقط بل ربما تحمل أيضاً خواصاً علاجية هامة . إن بئراً تستمد مائها من المستودع الأرضي المائي نفسه وتقدم نفس النوعية من الماء ، قد تكون موضع اشتباه حتى يعلن عن صلاحيتها للشرب ، ولكن هذه التدابير الاحترازية تعتبر غالباً غير ضرورية عندما يتعلق الأمر بماء الينبوع وعلى الرغم من حقيقة أن كثيراً من مياه الينابيع هي مياه نقية بشكل رائع فإن مياه ينابيع أخرى قد تظهر عكارة ملحوظة في بعض الأحيان وخصوصاً بعد فترات المطر الشديد . وعلى الرغم من كون معظم مياه الينابيع ، كمعظم مياه الآبار العميقة ، عديمة اللون فإن هناك عدداً من الاستثناءات .

وبقدر ما يرتبط الأمر بمسألة النقاوة فلا وجود لماء طبيعي خالي من الشوائب المعدنية المنحلة . وبقدر ما يرتبط الأمر بمسألة صلاحية الماء للشرب فإنه لا يمكن الإقرار بصلاحية ماء النبع للشرب إلا بعد إجراء الاختبار .

تستمد كثير من الصناعات كلّ أو الجزء الأساسي من زادها المائي من الينابيع وفي عدد من الحالات تكون مياه الينابيع نقية بما يكفي بحيث لا تحتاج إلى ترشيح لكنها وفي أحوال أخرى تحتاج إلى ذلك كما في حال العكارة التي تحدث

بعد هطول المطر الشديد . إن معظم مياه الينابيع عسرة إلى الحد الذي يكون فيه تيسيرها ضرورياً من أجل استخدامات المصانع قد يظهر نبع ما تغيراً مهما في التدفق ، ولذلك لا ينبغي الاعتماد كلياً على قياس واحد لصبيب الماء وبدلاً من ذلك يجب إجراء دراسة وافية لتعيين الحد الأدنى للتدفق وعند عدم كفايته ، القيام بدراسة الطرق التي يمكن بواسطتها تطوير النبع .

الآبار Wells :

تستخدم مياه الآبار على نطاق واسع في الصناعة وهي تتفوق على أنواع المياه الأخرى بعدد من الميزات منها : الصفاء والخلوّ من الأصباغ العضوية والطعم والرائحة والثبات النسبي في التركيب وخلوها من مياه المجاري والفضلات الصناعية ، ودرجة حرارتها الثابتة .

وتقسم الآبار عادة إلى فئتين : الآبار الجوفية العميقة والآبار السطحية الضحلة . والبئر الجوفية هي البئر التي تمتد نزولاً عبر طبقة كتيمة لتخترق مخزوناً مائياً كامناً ، أما البئر السطحية فهي البئر التي تمتد نزولاً في طبقة كتيمة إلى حد يكفي فقط لتكون فوق سطح الماء الباطني وتستمد مياهها من الرشح السطحي .

تحفر الآبار السطحية غالباً لأنها في مادة غير متماسكة عند حلول موسم (حفر الآبار) . وقد تتراوح في القطر من بضع أقدام إلى 50 قدماً أو أكثر , وكثيراً ما يتم إنشاء الآبار السطحية بدلاً من حفرها عن طرق دفع المآخذ البئرية في الأرض ، وتعرف هذه الآبار بالآبار المدقوقة أو كما تعرف في المحادثة الشائعة (بالآبار الأنبوبية) .

وفي حفر الآبار الجوفية العميقة يستخدم عادة التثقيب (الحفر) , ومن الواضح أنه ضروري عند اجتياز الطبقات الصخرية الصلدة . ويمكن إجراء الحفر بواسطة جهاز الحفر بالدقّ ، ونزح القلامة (الفتانات) , أو بواسطة جهاز الحفر

الدوّار مع استعمال سوائل الحفر الرغوية (الفوم) وطرد القلامة بين حين وأخر بتيار من الهواء المضغوط .

وفي الحصباء الرملية والتشكيلات الطينية يمكن استخدام طريقتين أخريين للحفر : طريقة أنبوب الموقد الكاليفورنية California Stove Pipe ، وطريقة النقب (الثقب) النفثي jetting in .

وآخر تطور في حفر الآبار المعتدلة العمق هو بئر راني Rannay Well الذي فيه يتم حفر بئر مركزية ووضع أسطوانات مثقبة على نحو أفقي عمودية على جسم البئر وعلى ارتفاعات مختلفة منه فيجري الماء عبر هذه الثقوب ليجتمع في الجزء الأسفل من البئر .

قد يتراوح عمق الآبار العميقة في مختلف المواقع من 1000 إلى أكثر من 3000 قدماً . تغلف الآبار العميقة عادة في جزء كبير منها بقميص لمنع المياه السطحية وللحيلولة دون انهيار المادة الرخوة في أعلى البئر . أن عمليات توسيع الثقوب وتغليف الحصباء هما طريقتان تستخدمان لزيادة التدفق ولمنع الانسداد بواسطة الرمل الناعم .

وفي الحالات التي يستخدم فيها على نطاق واسع بدل الخزان الرئيسي آبار عميقة قد يصدف أن تكون جميع المياه داخل منطقة تمتد على عدة أميال من نفس التركيب وتنتشر هذه الآبار فوق أجزاء مختلفة من الأرض إنما يجب أن نلاحظ أن الاختلاف في التركيب هو اختلاف ضئيل .

تظهر مياه الآبار العميقة غالباً اختلافات طفيفة فقط في التركيب حتى خلال فترات زمنية طويلة .

يحمل الماء من عدد الآبار العميقة في أي من هذه المناطق ، التركيب نفسه . ولكن هذا لا يصح دائماً ، لأن الآبار التي تحفر بنفس العمق ، في كثير من المناطق ، قد تخترق خزاناًت مختلفة من الماء ، فتنتج بذلك مياهاً متفاوتة جداً في التركيب .

إن تركيب الماء في بئر ما عميقة ، يتراوح بين حدين ضيقين جداً ، خلال فترة زمنية طويلة ، ولكن هناك بعض الاستثناءات . ومنها التلوث بمياه البحر . أما الاستثناء الثاني ، فهو التلوث بالماء السطحي .

وبينما تكون مياه الآبار العميقة بشكل ثابت تقريباً ، وخالية تماماً من العكارة واللون ، فإن بعضها قد يحتوي على الحديد ، وبعضها على كبريت الهدروجين ، وقد يحتوي عدد قليل نسبياً منها على المنجنيز . وسنأتي على معالجة هذه الشوائب ، تحت عناوين مستقلة ، في الفصلين الثاني والثالث وكثير ما نجد اليوم حفارو وجيولوجيو الآبار يتشاورون مع بعضهم عند بحثهم عن موضع مناسب بحفر بئر ويتدارسون بكل عناية سجلات أداء الآبار المحفورة في المنطقة المحيط قبل البدء بالحفر .

الآبار الارتوازية Artesian Wells :

هي آبار تبزل الماء المحبوس تحت الضغط وقد يكون هذا الضغط غير كاف لرفع مستوى الماء في البئر إلى السطح أو أنه قد يكفي لإحداث تدفق مستمر من الماء من أعلى البئر ، فيصنف البئر في هذه الحال كبئر تدفق . ولكثير من آبار التدفق ضغط عند السطح لا يزيد على 15 باونداً في الإنش المربع لكن هذا يختلف تبعاً لاختلاف المناطق . وحيثما يكون الضغط عند السطح ضعيفاً يستخدم الضخ غالباً لزيادة الإنتاجية .

مياه المناجم Mine Water :

في كثير من المناجم ، تتوجب إزالة كميات كبيرة من الماء بواسطة الضخ المستمر ، وكثير ما يستخدم هذا الماء في المراجل البخارية في المنجم ، لأغراض محلية ، وأحياناً من أجل صناعات أخرى . لا تختلف بعض مياه المناجم عن

المياه الأخرى الجوفية ، لكنها تكون حمضية في معظمها ، نظراً لوجود حمض الكبريت فيها عادة ، حتى أن مجرد ذكر ماء المنجم ، يوحي دائماً بالماء الحمضي .

إن مياه المناجم الحمضية أكالة جداً عادة ، وكثيراً ما تكون مثقلة بالحديد . وهي طيّعة للمعالجة ، إذا لم يكن محتوى الكبريتات فيها عالي جداً . وسوف ندرس هذه المشكلة في الفصل الثاني ، تحت عنوان (المياه الحمضية) .

المياه المعدنية Mineral Waters :

تستخدم عبارة (المياه المعدنية) بشكل فضفاض جداً ، إلى الحد الذي أصبحت معه عملياً عديمة المعنى .

إن المحتوى المعدني للمياه المعدنية يتراوح تقريباً من المحتوى المعدني لماء المطر إلى المحتوى المعدني لماء البئر الشديد العسرة . حتى أن الساخر يعرّف الماء المعدني بأنه : الماء ذو الرائحة والطعم السيئين , وهذا صحيح إلى حد ما لأن كثير من المياه المعدنية تنسجم مع التعريف السابق ، فالمياه الكبريتية مثلاً تحمل رائحة البيض الفاسد ، كما يحمل الماء المشحون بالحديد طعماً كريهاً أو قابضاً ، والمياه عالية الملوحة تكون مرة ومالحة جداً .

يوصف برزانة ماء أحد الينابيع لصنف واحد من الأمراض المزمنة ، ويوصف آخر ، هو عملياً من التركيب نفسه ، ولصنف آخر مزمن من المرض ورغم ما يحمله هذا الوصف من جوانب هزلية عالية ، إلا أن ما من شك أن آلاف الناس يستفيدون من زياراتهم للينابيع . وتعزى هذه الفائدة إلى تغيير المنظر والاسترخاء وتناول كميات كبيرة من الماء على نحو غير مألوف ، والغسل الإسرافي الكامل للجسم ، وعلم الحالات النفسية . والاختلاف بسيط بين ما إذا كان عامل واحد من تلك العوامل هو الذي حقق الفائدة للمريض ، وبين ما إذا كانت مجموعة العوامل المذكورة هي التي أسهمت في ذلك .

المياه الحبيسة Connate Waters :

مياه حقول الزيت المالحة Oil Field Brines :

المياه الحبيسة ، أو مياه حقول الزيت المالحة ، هي بقايا بحار قديمة ، ترسبت فيها الصخور الرسوبية . ولذلك سميت بمياه المستحثّات Fossil Waters .

وهي بصورة عامة ، مياه عالية الملوحة ، ولكن درجة الملوحة تختلف إلى حد كبير . وتحمل في حقول الزيت مدلولاً مزعجاً ليس إلا ، وتمثل مشكلة بيئية خطيرة ، إذ توجد في كثير من الحالات قوانين تمنع من تفريغ هذه المياه إلى مياه سطحية , ولذلك يعاد ضخها عادة إلى داخل الأرض ، وتحتاج عادة إلى معالجة قبل القيام بهذا الإجراء لتفادي تآكل تغليف صد الصدوع البينية للطبقة المسامية التي تضخ إليها . وقد استخدمت هذه المياه حديثاً إلى مدى محدود جداً لتجديد أجهزة تيسير المياه بالزيوليت .

مياه البحر Sea Waters :

في الجدول 5 . 1 تحليل يظهر المقومات الرئيسية للبحر . وللتوضيح بطريقة أخرى نقول بأن مياه البحر تحتوي على (2.7 %) تقريباً من كلوريد الصوديوم وعلى حوالي (0.8 %) من الأملاح الأخرى أو إجمالياً مقداره (3.5 %) من الأملاح الكلية .

وهناك بعض الاختلافات في درجة الملوحة التي نجدها , ولكن النسب النسبية للمقومات الرئيسية هي نفسها في كل المحيطات . تستخدم مياه البحر كمادة خام لاستخراج الملح والبروم والمغنزيوم منها . وتستخدم أيضاً إلى مدى محدود في تجديد المصانع الكبيرة لتجديد تيسير الماء بالزيوليت , وعند استخدامها على النحو المشار إليه فإنها تهيئ أرخص الطرق لتيسر المورد المائي العسر , وتستخدم مياه البحر أيضاً على نطاق واسع للتبريد في المصانع القائمة عند الشاطئ . وتقطر أيضاً في بعض المناطق الجافة وعلى متون السفن لتوفير ماء

التغذية للمراجل ، وماء الشرب وغير ذلك . وهناك طريقة مشوقة لتقطير ماء البحر موصوفة في الفصل 17

الجدول 5 . 1 مياه البحر : **النسب النسبية للمقومات الرئيسية لمياه البحر وهي عملياً واحدة في جميع المحيطات .**

العنصر	أجزاء $CaCO_3$ في المليون
كالسيوم	1000
مغنيزيوم	5234
صوديوم	22950
بوتاسيوم	486
بيكربونات	115
كلوريد	26790
سلفات	2757
بروميد	41
عسرة	6234

ملاحظة : يمكن تحويل كميات قليلة من مياه البحر إلى مياه صالحة للشرب عن طريق جهاز خاص لإزالة الملح ، والمقوم الرئيسي هو زيوليت الفضة ، الذي يتفاعل مع كلور الصوديوم ، والمغنزيوم ، والكالسيوم لتشكيل مركبات غير ذوّابة تزال بالترشيح :

(1) زيوليت صوديوم ، ومغنيزيوم ، وكالسيوم0 غير ذوّاب ،

و(2) وكلوريد فضة غير ذوّاب حسب *التفاعلات التالية* :

$$(1)\quad 2\,Na\,Cl + Ag_2\,Z = Na_2\,Z + Ag\,C$$
$$(2)\quad 2\,Mg\,Cl_2 + Ag_2\,Z = Mg\,Z + 2\,Ag\,Cl$$
$$(3)\quad 2\,Ca\,Cl_2 + Ag_2\,Z = Ca\,Z + 2\,Ag\,Cl$$

وإذا احتجنا إلى تخفيض محتوي الكبريتات ، فإننا نضيف كمية بسيطة من هيدروكسيد الباريوم ، إلى الغالب حيث تتفاعل أيونات الباريوم مع أيونات الكبريتات لتشكيل : كبريتات باريوم غير ذوّابة ، بينما تتفاعل أيونات الهدروكسيل مع أيونات المغنيزيوم لتشكيل هيدروكسيد مغنيزيوم غير ذوّاب أيضاً . ويحتوي الجهاز أيضاً على كميات بسيطة من الكربون المنشّط ومحطّم يساعد في تفتيت القالب عند تلامسه مع الماء . توفر هذه الطريقة مياه الشرب على

متون أطواق أو قوارب النجاة ، لكنها مكلفة جداً لمعالجة كميات كبيرة من مياه البحر من الناحية العملية ، لا ينتزع كامل الملح من الماء ، بل يبقى منه ما يكفي لتعويض خسارة الملح التي تنتج عن التعرق .



Figure 1-3. Life-raft use of seawater desalting kit.

تلوث الأنهار بمياه البحر :
Sea Water Contamination Of Rivers

يشيع تلوث مياه النهر بمياه البحر عند مكان دخول الأنهار إلى المحيطات أو خلجان الماء المالحة وقد يمتد هذا التلوث على مسافة أميال في اتجاه أعلى النهر . إن عمق النهر ومرحلته وارتفاع المد كلها عوامل تدخل في هذا التأثير فلا يجب إصدار أحكام قطعية من أن التلوث سوف لن يحدث لأن الموقع المقترح مثلاً يبعد 10 أو 20 ميلاً باتجاه أعلى النهر ولأن للنهر تدفقاً قوياً ولأن عدة اختبارات أظهرت عدم وجود التلوث , ومن الضروري بدلاً من ذلك إعداد سلسلة

طويلة من الاختبارات عند مختلف مراحل النهر وخلال المد الناقص والمد التام ، وذلك قبل استخلاص أية استنتاجات تتعلق بخطر التلوث بمياه البحر .

يمكن إهمال التلوث بمياه البحر أثناء الدفق العالي للنهر ، حتى خلال فترات المدّ التامة , أما في فترات انخفاض الدفق فقد يسبب المد تلوثاً حتى لو كان مداً ناقصاً , وتتضح هذه النقطة تماماً بسلسلة قياسات الكلور في مياه النهر .

ولا حاجة للقول في أن معظم هذا الماء لم يعد يفيد في شيء ، إلا لأغراض التبريد . وبما أن ماء البحر يحمل وزناً نوعياً أعلى من الوزن النوعي للماء العذب فإنه سيشق طريقه صعوداً في قاع النهر أما الماء العذب فيجري فوقه . ولكن المجرى المتعرج والدفق الدوامي وتأثير الموج إلى حد ما يقلب هذه الظروف المثالية ، فيحدث قدر هام من المزج .

تلوث مياه الآبار بمياه البحر

Sea Water Contamination Of Wall Waters

يحدث كثيراً أن تتلوث مياه الآبار بمياه البحر أو الخلجان المالحة أو الأنهار الضاربة إلى الملوحة . ومن الواضح أن التلوث لا يمكن أن يحدث إذا كانت الآبار ذات دفق حرّ أو إذا كان عمقها أو المستوى الأدنى للسحب منها فوق مستوى مياه البحر . ولكي يحدث التلوث من الضروري أن يكون عمق البئر ومستوى الماء فيه أثناء الضخ تحت مستوى البحر وأن توجد الطبقة المتقدمة الراشحة التي تقدم منفذاً إلى ماء البحر . وفي أحوال كثيرة لا يحدث مثل هذا التلوث حتى يحفر عدد من الآبار ويبلغ الضخ أشده خلال فترة طويلة من الزمن تقدر بالسنوات في حالات كثيرة , وفي حالات أخرى يحدث التلوث في كل بئر يحفر في مناطق معينة حتى بعد فترة قصيرة نسبياً من الضخ المعتدل .

وعندما ترشح مياه البحر عبر طبقة مسامية تمتد من السطح إلى عمق معتدل فإنه يعود على شكل جدار منحنٍ يمتد الجزء الأسفل منه تحت الماء الجوفي العذب الأخف , أو بمعنى آخر فإن الماء العذب يطفو فوق ماء البحر . وفي

مواقع كهذه يمكن لبئر ضحلة أن تنتج ماء عذباً في حين قد تنتج بئر مجاورة أعمق ماء مالحاً بدرجة عالية ويوضح هذا الجدول 6. 1 ، الذي يقدم تحاليل لبئرين متجاورين إحداهما بعمق 45 قدماً والأخرى بعمق 110 قدماً في هذه الحال لا تظهر مياه البئر الضحلة تلوثاً , أما مياه البئر الأعمق فتحتوي على 90% تقريباً من مياه البحر حيثما يوجد التلوث بمياه البحر فإن مداه قد يتفاقم إلى حد كبير بواسطة الضخ الشديد الذي يميل إلى رفع الماء الملحي التحتي الأثقل في منطقة صغيرة نسبياً حول قاع البئر , ويظهر هذا التأثير في محتويات الكلور في ماء البئر بتأثير شدة الضخ والمدرج في الجدول 7 . 1 . وفي هذه الحال إن تخفيف ضغط المضخة بالخنق ، بعد استقرار ماء البحر إلى أدنى عمق ، خلال فترة التوقف يفيد في تخفيف مقدار التلوث ، لأنه عند إجراء هذه العملية بحكمة ، فإن قمة مخروط الماء الملحي العالية ، والمتشكلة عن طريق الضخ يمكن غالباً الاحتفاظ بها دون ارتفاع قاع البئر . إن هذا الإجراء ينقص حجم الماء المتحصل لكن من الواضح أن كمية أصغر من الماء الضعيف التلوث أفضل من كمية كبيرة من الماء الذي قد يكون ملوثاً بشدة فلا يفيد من الناحية العملية في شيء .

ولكن القصة العادية لهذه الآبار تظهر أن درجة تخفيف الضغط بالخنق ، يجب أن ترتفع من وقت لآخر حتى يصبح إنتاج البئر ضئيلاً بحيث يدفع إلى هجره .

الجدول 6. 1. تحاليل من بئرين متجاورين في ميامي تظهر تلوث مياه البئر الأعمق .

التحليل	البئر	
	ضحل (45 قدماً)	(عميق 110 قدماً)
العسرة	249	6020
البيكربونات	226	168
الكلور	27	23800
الكبريتات	10	2190

الجدول 7 . 1 . ارتفاع محتوى الكلور في مياه بئر ملوثة بمياه البحر في ميامي خلال الضخ الشديد .

	Cl كأجزاء $CaCO_3$ في المليون
بعد 3 ساعات من الضخ	846
بعد 5 ساعات من الضخ	1160
أول ضخ بعد توقف 24ساعة	247

الفصل الثاني

المواد المعدنية المنحلة

Dissolved Mineral Matter

رأينا في الفصل الأول ، أن شوائب المياه هي :

(1) المادة المعدنية المنحلة (2) الغازات المنحلة (3) العكارة والرواسب

(4) اللون والمواد العضوية (5)الطعوم والروائح (6) المتعضيات المجهرية .

نتناول في هذا الفصل موضوع المادة المعدنية المنحلة . ونكرس الفصل الثالث للغازات المنحلة ، أما العكارة , والراسب ، واللون ، والمادة العضوية ، والطعوم والروائح ، فندرسها في الفصل الرابع .

تحتوي الموارد المائية جميعها ، سواء في حالتها الخام ، أو بعد معالجتها من قبل البلدية ، على مادة معدنية . وكما رأينا في الفصل الأول ، فإن هذه المقومات المعدنية ، تختلف إلى حد كبير في كمياتها ، ونسبها النسبية الموجودة في مختلف الموارد المائية . وأكثرها وفرة هي : بيكربونات وكبريتات وكلوريدات الكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم الموجودة طبعاً كمركبات لأنيوناتها *Anions* وكاتيوناتها *Cations* الخاصة . وفيما يلي ، ندرس باختصار كل ملح على حده . ونورد ذوبانية كل منها بلغة مكافئة لكربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

بيكربونات الكالسيوم **$Ca(HCO3)_2$:**

توجد فقط على شكل محلول ، وتتشكل بواسطة تأثير الماء الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون على الحجر الجيري ، والرخام ، والطباشير ، والكالسيت ، والدولوميت ، والمعادن الأخرى التي تحتوي على كربونات الكالسيوم ، وذلك حسب التفاعل التالي :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

كربونات الكالسيوم   غاز الكربون   بيكربونات الكالسيوم

تبلغ ذوبانية بيكربونات الكالسيوم في الماء بدرجة 32 ف والمشبع بثاني أكسيد الكربون بالضغط الجوي العادي 1620 ppm (94,5 غ / جالون) . وهذا هو الحد الأقصى للذوبانية ، ومعظم الموارد المائية الطبيعية تحمل محتويات من بيكربونات الكالسيوم تقارب هذا الرقم .

وعندما ترتفع درجة الحرارة تنقص الذوبانية ، بسبب زيادة انعكاس التفاعل السابق . ويكتمل الانعكاس في المرجل البخاري ، فيتحلل كامل المحتوى من بيكربونات الكالسيوم إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وكربونات الكالسيوم ، ومن المعروف أن كربونات الكالسيوم ذات ذوبانية منخفضة جداً (15 ppm أو 9 غ / جالون) عند درجة 32 ف ، و (13 ppm أو 0.8غ / جالون) عند درجة 212 ف

(انظر قشرة كربونات الكالسيوم وقشرة كربونات وهيدروكسيد المغنيزيوم) في الجدولين 2-10 و2 -11.

بيكربونات المغنزيوم **$Mg (HCO_3)_2$:**

توجد فقط على شكل محلول ، وتتشكل بتأثير الماء الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون الطليق على المغنزيت ، والدولوميت ، والفلزات الأخرى التي تحتوي على كربونات المغنيزيوم ، حسب التفاعل التالي :

$$MgCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Mg (HCO_3)_2$$

كربونات المغنزيوم — بيكربونات المغنزيوم

تبلغ ذوبانية بيكربونات المغنزيوم في الماء ، بدرجة 32 ف ، المشبع بثاني أكسيد الكربون بالضغط الجوي 37100 ppm (0.217غ / جالون) . ورغم ارتفاع الذوبانية القصوى لبيكربونات المغنزيوم ، فإن الكميات الموجودة منها في الموارد الطبيعية للماء هي عادة أدنى من 75 ppm (4,4 / جالون) ، وقلما تصل إلى هذا الرقم .

عند ما ترتفع درجة الحرارة ، تنقص الذوبانية ، بسبب زيادة انعكاس التفاعل السابق ، فيتشكل أولاً ثاني أكسيد الكربون والماء و كربونات المغنزيوم ، التي تكون

ذوبانيتها في الماء النقي 101ppm (5,9 غ / جالون) بدرجة 32ف ، و75 ppm (4.4 غ / جالون) بدرجة 212 ف . ويحدث بعد ذلك ، في درجات الحرارة العالية ، كما في المرجل البخاري ، تبدل إضافي ، لأن كربونات المغنيزيوم تتفاعل مع الماء ، لإطلاق ثاني أكسيد الكربون ، وتشكيل هيدروكسيد المغنيزيوم ، ذي الذوبانية الشديدة الانخفاض 17 ppm (أو 1غ / جالون) بدرجة 32 ف ، 8 ppm (أو0,5 غ / جالون) بدرجة 212 ف .

بيكربونات الصوديوم **$NaHCO_3$:**

ملح أبيض ، معروف عادة تحت اسم (بيكربونات الصودا) أو(صودا الخبيز) *Baking Soda* . ذوبانيتها في الماء بدرجة 32 ف ، هي *38700 ppm* (0.226 غ / جالون) ، وتزداد مع ارتفاع درجة الحرارة ، لكنها تميل بعد درجة 100 ف إلى فقدان ثاني أكسيد الكربون وعند درجة 212 ف تتحول تماما إلى ثاني أكسيد كربون وهيدروكسيد صوديوم (صودا كاوية) انظر التفاعلات تحت عنوان (قشرة كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم) ، والذوبان في الجدول 2.9 ، من أجل تحاليل عدد من العينات المائية ، التي تحتوي على بيكربونات الصوديوم .

كبريتات الكالسيوم **$CaSO_4$:**

توجد كبريتات الكلسيوم على شكل ثنائي هيدرات $CaSO_4 . 2H_2O$ في العديد من الفلزات , كالجبس ، والمرمر ، والسلينيت ، وبشكل لا مائي $CaSO_4$ في الفلز أنهيدريت *Anhydrite* . وبشكل نصف مائي$CaSO_4$ $1/2H_2O$ في مادة تعرف بـ (جصّ باريس) *Plaster Of Paris* ، الذي يحضّر بالنزع الجزئي للماء من الجبس .

أنظر قشرة كبريتات الكلسيوم من أجل مميزاته ، والجدول 4 . 2 من أجل مقدار ذوبانه في مختلف درجات الحرارة .

كبريتات المغنزيوم $MgSO_4$**:**

تعرف الهيدرات السباعية ($MgSO_4\ 7H_2O$) عادة باسم (الملح الإنكليزي) ، أو باسم **ملح إبسوم** *Epsom Salt* عندما توجد في الطبقات الملحية والمناجم ، والكهوف ، إلخ . . . وهناك شكل فلزي آخر هو القيصريت *Kieserite* الذي هو هيدرات أحادية ($MgSO_4\ H_2O$) وتوجد أيضاً في فلزات أخرى ، مثل الكاينيت *Kainite* ، والبيكرومريت *Picromerite* ، واللّويت *Loweite* ، إلخ ، على شكل ملح مزدوج مع كلور البوتاسيوم أوكبريتات البوتاسيوم أو كبريتات الصوديوم ، إلخ . . وعلى خلاف كبريتات الكالسيوم ، فإن كبريتات المغنزيوم ملح ذواب جداً ، وتبلغ ذوبانيته *170000 ppm* (9920 غ / جالون) بدرجة 32 ف و *356000 ppm* (20800 غ / جالون) بدرجة 212 ف . وهذا الملح أكّال في المرجل البخاري .

كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 **:**

الهيدرات العشارية ($Na_2SO_4\ 10H_2O$) ملح متزهر ، عادة يعرف باسم (**ملح جلوبر** *Glauber's Salt* أو بالـ (ميرابليت *Mirabilite*) ، عندما يوجد مترسباً في البحيرات الملحية ، والطبقات الملحية ، والكهوف إلخ . . . ويدعى الفلز اللامائي (Na_2SO_4) باسم ثينارديت *Thenardite* ، بينما تعرف كبريتات الصوديوم اللامائية التجارية ، وهي ناتج ثانوي لتصنيع حمض كلور الماء من الملح العادي وحمض الكبريت ، عادة باسم **ملح الكعك** *Salt Cake* . وهي كأملاح الصوديوم الأخرى ، توجد في المياه الطبيعية والمعالجة ، وهي ذوابة جداً ، ولا تشكل قشوراً . انظر(أملاح الصوديوم) في الجدول 8 .2 .

كلور الكالسيوم $CaCl_2$ **:**

يوجد في المياه الطبيعية المالحة ، وفي الطبقات الملحية ، إلخ ، ويتحصل كناتج ثانوي في الصناعة الكيميائية ، ويوجد طبيعيا في فلزن هما : **تاكهدريت** *Tachhydrite* وهو ملح مزدوج مميأ مع كلور المغنزيوم $CaCl_2MgCl.12H_2O$ و

هيدروفيليت *Hydrophilite* ، وهو شكل لا مائي ($CaCl_2$) . ويشكل كلور الكالسيوم عدة هيدرات ، كهيدرات أحادية $CaCl_2H_2O$ وهيدرات سداسية ($CaCl_2\ 6H_2O$) وجميع هذه الأشكال متميعة وذوابة بدرجة عالية *336000 ppm* أو (19600غ / جالون) بدرجة 32 ف ، و ppm *554000* أو 32300غ / جالون) بدرجة 212ف وهو أكّال في المرجل البخاري .

كلور المغنيزيوم $\mathbf{MgCl_2}$ **:**

يوجد في مياه البحر ، والمياه الطبيعية المالحة ، والطبقات الملحية ، إلخ وذلك في أربعة أشكال فلزّية هي : **الكلورومغنزيت** *Chloro magnesite* اللامائي ($MgCl_2$) ، و **بيسكوفيت** الهيدرات السداسية ($MgC_{l2}\ 6H_2O$) ، والملح المزدوج مع كلور البوتاسيوم **كارنليت** *Carnallite* ($MgCl_2\ KCl\ 6H_2O$) و**تاكهيدريت** (انظر المقطع السابق) .

كلوريد المغنزيوم متميع ، وذواب جداً (*362000 ppm* أو 21100غ / جالون) بدرجة 32ف ، و(*443000 ppm* أو 25900غ / جالون) بدرجة 212ف ، وهو أكّال جداً في المراجل البخارية ، كما يتفاعل مع الماء ، في درجات حرارة كهذه ، لتشكيل حمض كلور الماء ، وهيدروكسيد المغنيزيوم .

كلور الصوديوم **Na Cl** *:*

يعرف على نطاق واسع بـ (الملح) ، بدون أية صفة محدودة ، لكنه يعرف أيضاً ، وعلى نطاق معين بـ (الملح العادي) والاسم الفلزي هو **هاليت** *Halit* . وهو المقوم المعدني الرئيسي لمياه البحر (كلور الصوديوم 2,7 %) ، ويوجد في الطبقات الملحية ، والبحيرات المالحة ، والمياه الحبيسة ، والمياه المالحة الطبيعية الأخرى ، إلخ . وهو غير مائي في تركيبه ، لكن بلوراته تحتوي غالباً على بعض الماء ولذلك كثيراً ما تتفرقع عند التسخين . وكغيره من أملاح الصوديوم الأخرى ، يوجد في الطبيعة ، والمياه المعالجة ، وذوّاب جداً ، ولا يشكل قشوراً . انظر (أملاح الصوديوم)

والجدول 8 . 2 .

معادن أخرى :

وهناك مواد معدنية أخرى ، يمكن أن توجد في الموارد المائية الطبيعية ، قد تشتمل على السليكا والحديد والمنغنيز والنترات والنيتريتات والبوتاسيوم والأمونيا والفلوريدات زاتليوديات والألومينا والحموض المعدنية ، إلخ . . .

توجد **السليكا** SiO_2 ، في شكل نقي تقريباً في الكوارتز ، وكثير من الرمال . وهي مقوم رئيسي في الفيلدسبار ، والطين ، وحشد من المعادن الأخرى . وتوجد عملياً في كافة المياه الطبيعية ، وقد توجد بكميات تتراوح من *1 ppm* أو أقل إلى *100 ppm* (0,6. 5,8غ / جالون)

ويوجد **الحديد** في معظم موارد المياه بكميات قليلة ، وإذا كان موجود بحدود *0,1 ppm* أو أقل ، فقد يعتبر وجوداً مهملاً بالنسبة لكافة الاستخدامات الصناعية . أما إذا وجد بكميات أكبر من*0,2-0,3 ppm* فهو مثار للاعتراض جداً .

والمنغنيز مقوم أكثر ندرة ، لكنه أكثر إثارة للاعتراض ، والتسامح من أجل استعمالات خاصة قد يكون أدنى من التسامح بوجود الحديد .

والنترات غائبة عادة أو موجودة فقط بمقادير ضئيلة ولكن هناك استثناءات ، وتقاس إذا كانت موجودة بكميات محسوسة .

والنيتريتات أيضاً قد تكون غائبة ، أو موجودة بمثل هذه الكميات القليلة ، حتى أنها قلما تقاس في تحاليل الماء الصناعي .

والأمونيا مقوم ضئيل أيضاً ، حتى أنها نادراً ما قيست في الماء المستخدم للأغراض الصناعية . ولكن هناك استثناءات حيث أن المياه الملوثة بشدة ، تطلق ما يكفي من الأ مونيا بحيث تؤثر على الصمامات والتجهيزات النحاسية في المراجل .

ملاحظة : من وجهة النظر الصحية , فقط في حالة الأطفال الصغار جداً ، قد يسبب وجود النترات ، بأكثر من

20 ppm - 10 في مياه الشرب خضاب الدم المبدل الدمّي Methemo globinemia .

ويصنف **البوتاسيوم** مع الصوديوم ، لأنه يوجد عادة بكميات صغيرة ، ويشبهه إلى حد كبير في صفاته .

والفلوريدات ، التي قد توجد في الماء في مواقع معينة ، بكميات أقل من *1 ppm* إلى *8 ppm* ، مهمة من وجهة النظر الصحية ، لكن أهميتها قد تكون قليلة لمعظم الأغراض الصناعية .

وفي بعض المناطق , تحوي بعض المياه كميات بسيطة من **البورات** و**الألومينا** لكنها عادة قليلة الأهمية .

الجدول 2.1 . المقومات المعدنية المقاسة عادة في تحاليل الماء .

الاسم	الصيغة	التعبير بـ	يعرف عادة بـ
كالسيوم	Ca	$CaCO_3$	عسر الكالسيوم + عسر المغنزيوم = العسر الكلي
مغنزيوم	Mg	$CaCO_3$	
صوديوم	Na	$CaCO_3$	
بيكربونات	HCO_3	$CaCO_3$	بيكربونات قلوية
كربونات	CO_3	$CaCO_3$	كربونات قلوية
هيدروكسيد	OH	$CaCO_3$	قلوية كاوية
كلوريد	Cl	$CaCO_3$	
كبريتات	SO_4	$CaCO_3$	
نترات	NO_3	$CaCO_3$	حموضة معدنية (1)
فلوريد	F	F	
سليكا	SiO_2	SiO_2	
حديد	Fe	Fe	
منغنيز	Mn	Mn	

ملاحظة (1) : قد تعزى الحموضة المعدنية إلى حمض الكبريت ، أو الكبريتات ، أو الحديد ، أو الألومينا ، أو المنغنيز وفي التدفق من مبادلات كاتيونات . هيدروجين ، قد يكون موجوداً في الماء حمض

الكبريت وحمض كلور الماء ، مع بعض كميات بسيطة من حمض الآزوت . قد توجد الحموضة المعدنية في كثير من المياه ، وفي بعض المياه الكبريتية ، التي تلوثت بالفضلات التجارية ، أو بالارتشاح من المناجم .

ملاحظة (2) : يوجد البروم ، بكميات يمكن استخدامها تجاريا ، في مياه البحر ، أو بعض المياه الحبيسة ، أو في مياه الزيت المالحة .

وقد توجد كميات بسيطة من **الكربونات القلوية** في المياه السطحية الطبيعية ، ومياه الآبار ولا توجد **القلوية الكاوية** أبداً من الناحية العلمية إلا في المياه المعالجة .

ويوجد **اليود** أيضاً بكميات قليلة في مياه البحر ، وبعض المياه الحبيسة ، ومياه حقول الزيت المالحة . وعلى الرغم من وجود اليود بكميات ضئيلة في المياه العذبة (يقاس بأجزاء في البليون ، بدلاً من أجزاء في المليون) ، فإنه مهم جداً في الحد من انتشار مرض التضخم الدرقي .

وهناك مياه نادرة جداً ، تحتوي على كميات يمكن قياسها من مقومات نادرة أيضاً ، **كالزرنيخ** ، **والسلينيوم** ، لكنها من الندرة بحيث نذكر وجودها فقط .

يمكن أيضاً للمياه الأكّالة أن تلتقط **الرصاص والنحاس والزنك** بكميات قليلة من الأنابيب . لقد وجدت مقادير ضئيلة بالطرق المطيافية من معادن أخرى في الموارد الطبيعية للماء ، لكننا لن نأتي على دراستها نظراً لضآلتها .

إن تلوث الماء بالفضلات التجارية ، قد يزوده أيضاً بمقومات نادرة ، من بينها **الكروم . و السترنثيوم** نادراً ما يقاس ، لكنه وبسبب الاهتمام بنظائره في نواتج الانشطار الإشعاعي ، قام بعضهم بدراسة مركبات السترنثيوم الطبيعية اللا إشعاعية في حوالي50 عينة من الموارد البلدية للماء . وكانت الكميات الموجودة في هذه الموارد ضئيلة جداً ، بمتوسط قدره *0,29 ppm* .

إن مقومات المياه المدرجة في الجدول 2.1 ، هي وحدها التي تحتاج إلى دراسة من أجل الاستخدامات الصناعية ، والدفق العادي للموارد المائية المعالجة والطبيعية . وفيما يتعلق بكميات المادة المعدنية المنحلة ، والمنقولة بواسطة الموارد المائية الطبيعية

، راجع الشرح تحت الصورة 2.1 .



الصورة 1 .2 . الينابيع الفضية في فلوريدا . أحد أكبر الينابيع دفقاً في العالم (500 مليوناً . 800 جالوناً في اليوم) . فقد جعله صفاؤه المفرط ، وأسطوله من القوارب الزجاجية القيعان مقصد السياح ، وهو مثالي للتصوير تحت الماء مع ذلك ، فإن هذه المياه البلّورية الشفافة تحمل ، في المتوسط ، 600 طناً من المادة المعدنية المنحلة يومياً . فتشكل تقريباً عسورة مقدارها 220 ppm (12.8غ / جالون) ، وهي كمية مكافئة سنوياً لحل كتلة من الحجر ، حجر جيري ، بعرض 50 قدماً و ارتفاع 50 قدماً وأكثر من 1000 قدماً طولاً .

القلوية : *البيكربونات ، والكربونات ، والمادة الكاوية :*

Alkalinity : Bicarbonate ,Carbonate ,and Caustic

تقدر القلوية بالمعايرة مع محلول حمضي (0.1N) بعدد السنتمترات المكعبة منه المستهلكة لأجل 1 لتر ، ويستخدم في المعايرة مشعرين ، الأول الفينول فثالين والقلوية الناتجة تدعى قلوية الفينول فثالين (قلوية ph) ، والثاني برتقالي المثيل والناتج هو قلوية برتقالي المثيل (قلوية m o) .

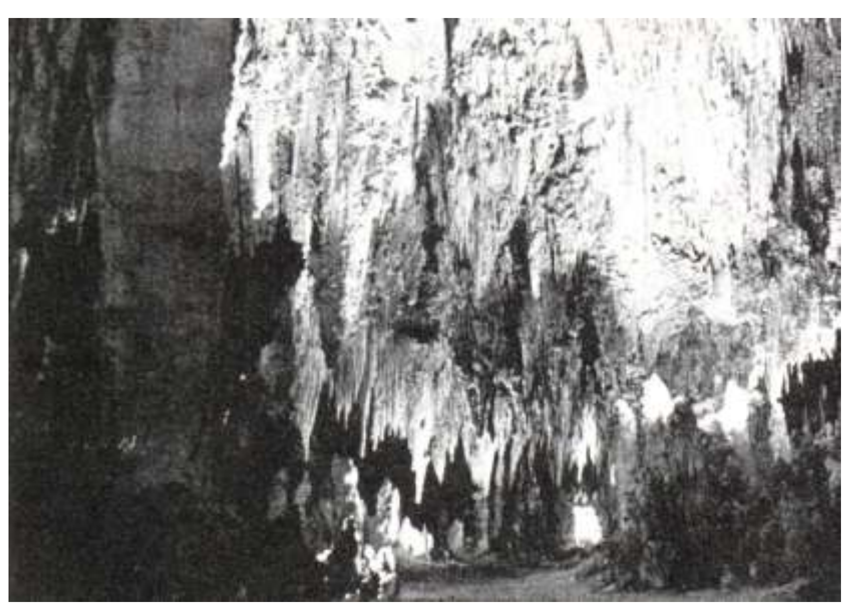
(إن معظم الموارد الطبيعية للماء تحتوي على بعض من ثاني أكسيد الكربون الحر ، ولا تظهر قلوية الفينول فثالين) .

1 . عند عدم وجود قلوية الفينول فثالين تفترض كل القلوية هي قلوية البيكربونات .

2 . عند وجود قلوية الفينول فثالين ، أو ضعفها ، أو إذا كانت أقل من ، أو مساوية لقلوية برتقالي المثيل ، فيفترض وجود قلوية الكربونات .

3 . إذا تجاوز ضعف رقم الفينول فثالين قلوية برتقالي المثيل ، فإن الزيادة المفترضة ، يجب أن تكون مادة كاوية ، أو قلوية الهيدروكسيد .

ملاحظة : تتلازم هذه التقديرات مع بعض الأخطاء ، ولا تنسجم هذه الافتراضات تماماً مع مفاهيم الكيمياء الفيزيائية ، لكن هذه الطرق بسيطة ، ومرضية جداً بالنسبة لمعظم الحسابات المتعلقة بمعالجة المياه . من الواضح أن في المحاليل المخففة مثل موارد المياه العذبة ، لا توجد الأملاح في حد ذاتها ، لكنها تكون ، بدلاً من ذلك ، مفترقة من الناحية العملية إلى أنيونات وكاتيونات مطابقة . ولكن من الأنسب والأبسط تخيل بعض الأملاح كما لو كانت غير مفترقة . وهكذا تصبح عادية الإشارة إلى محتوى بيكربونات أو كبريتات الكالسيوم في الماء ، كما لو كانت هذه المواد موجودة كأملاح غير مفترقة ، بدلاً من الأيونات . وفي حالات أخرى قد تكون من الأسهل دراسة الأيونات الموجودة .



الصورة 2. 2 . كهوف كارلسبار ، نيومكسيكو . حجرة الملكة . كهوف الحجر الجيري ، تشكلت بالفعل المذيب للمياه ، التي تحتوي على ثاني أكسيد الكربون الطليق ، والنوازل ، والصواعد ، والأعمدة ، التي تشكلت فيما بعد عن طريق التبخر ، وفقدان ثاني أكسيد الكربون من ارتشاح الماء العسر ، وتقطره ببطء من سقوف الكهوف .

العُسرة : الكالسيوم والمغنزيوم : Hardness : Calcium and Magnesium

تعزى قساوة الماء إلى محتواه من الكالسيوم والمغنزيوم , ويعبر عن العسرة في البلدان الناطقة بالإنكليزية على أساس كربونات الكالسيوم . وعسرة الكالسيوم هي العسرة الناجمة عن أملاح الكالسيوم الذوّابة ، كما أن عسرة المغنزيوم تعزي لأملاح المغنيزيوم الذوّابة . والعسرة الكاملة هي حاصل جمع عسرة الكالسيوم وعسرة المغنيزيوم .

ملاحظة : استخدم تعبير (عسرة) أصلاً لماء الغسيل العَسِر ، وتعزى العسرة إلى خواص الماء المتلفة للصابون . وهي في معظم المياه القلوية بصورة طبيعية ، تعزى هذه الخواص مباشرة وعلى نحو متناسب إلى محتوى الماء من الكالسيوم والمغنزيوم . ومن الواضح أن في الماء الحمضي تؤثر الأحماض المعدنية الموجودة بشكل محسوس كعسرة لاحتوائها على أملاح الحديد و الألمنيوم وغيرها من المعادن الثقيلة وهي ستعمل أيضاً على إتلاف الصابون ولكن هذه الحالات هي حالات استثنائية ولا حاجة لتعقيد التعريف البسيط بها .

إن عسرة الكربونات ، وعسرة البيكربونات ، والعسرة المؤقتة *Temporary Hardness* هي عبارات مرادفة للعسرة التي تعزى إلى بيكربونات الكالسيوم و/ أو بيكربونات المغنزيوم . وأول هذه العبارات ، **القساوة الكربوناتية** هي المفضلة اليوم إن القساوة اللاكربوناتية وعسرة الكبريتات والعسرة الدائمة *Permanent* هي عبارات مرادفة للعسرة الناجمة عن وجود كبريتات و / أو كلوريدات و / أو نترات الكالسيوم و / أو المغنزيوم .

وأول هذه العبارات عسرة اللاكربونات هي المفضلة اليوم . تقدر كميات عسرة الكربونات واللاكربونات الموجودة في ماء ما ، بتقييم نتائج التحليل كما يلي :

(1) إذا كانت قلوية برتقالي المثيل في الماء مساوية للعسرة الكلية ، أو تزيد عنها ، فإن كامل العسرة تكون موجودة كعسرة كربونات .

(2) إذا كانت قلوية برتقالي المثيل في الماء أقل من العسرة الكلية ، فإن عسرة الكربونات تساوي القلوية .

(3) تكون عسرة اللاكربونات ، ضمن الشروط في البند (2) مساوية للعسرة الكلية ، منقوصاً منها قلوية برتقالي المثيل .

وعلى الرغم من الاستخدام الغالب في النص لعبارتي : (عسرة الكربونات) و(عسرة اللاكربونات) فإن هناك بعض الانعطافات لمصلحة الوضوح . فمثلاً ليس واضحاً إطلاقاً ما معنى تحديد أن قساوة الكالسيوم الكربوناتية تتفتت عند التسخين لتشكيل كربونات كالسيوم . وبالمقابل أيضاً إن قساوة بيكربونات الكالسيوم تتفتت عند التسخين لتشكيل كربونات الكالسيوم ، يتضح مباشرة أن تبدلاً محدداً قد حدث . وفي حالات أخرى أيضاً ، وخصوصاً عند وجود قلوية الصوديوم أيضاً ، فإنه يصبح من الأوضح لإظهار العلاقات استخدام عبارتي (قلوية الكالسيوم) و (قلوية المغنزيوم) من استخدام عبارتي (عسرة كربونات الكالسيوم) و(عسرة كربونات المغنزيوم) .

ملاحظة : إذا تجاوزت قلوية برتقالي المثيل العسورة الكلية ، تكون الزيادة ، هي قلوية الصوديوم .

ترسبات (قشرة) كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate Scale

بما أن كربونات الكالسيوم أقل ذوبانية بكثير من كربونات المغنزيوم ، وكل منهما أقل ذوبانية بكثير من كربونات الصوديوم ، يصبح من المناسب تصور القلوية كرابط أولاً للكالسيوم ، وثانياً للمغنزيوم ، وثالثاً للصوديوم . يفيد تصور كهذا لأغراض عملية ، لأنه عندما يسخن الماء الذي يحتوي على بيكربونات الكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم ، فإن كربونات الكالسيوم تترسب أولاً ، وبعدها كربونات المغنيزيوم ، أما كربونات الصوديوم ، فتكون ذوابة جداً ، إلى الحد الذي لا يحصل فيه انفصال ، حتى يتركز المحلول إلى حد كبير بواسطة التبخر .

ويبين الجدول 2. 2 ذوبانية هذه الكربونات الثلاث بدرجة 212 ف .

وهذا سبب كون كربونات الكالسيوم ، هي المكوّن الرئيسي للقشور في المكثفات ، والمعدات الأخرى ذات الدثار المائي ، والمسخنات المائية ، وشبكات الماء الحار .

هناك رأي شائع على نطاق واسع ، يفيد بأنه قشرة كربونات الكالسيوم لا يمكن

أن تتشكل ، ما لم يسخن الماء إلى ما بعد 130 ف . لكنه رأي خاطئ ، لأن ارتفاعاً طفيفاً جداً ، لبعض أنواع المياه ، يكفي لتشكيل قشرة كربونات الكالسيوم . فمثلاً ، إن تشكل قشرة كربونات الكالسيوم ليس مجهولاً في الخطوط الرئيسية للماء البارد في المناطق المدارية ، وشبه المدارية . (سنعالج هذه النقطة بالتفصيل في الفصل التاسع) ، لأن هناك توازن ، عند كل درجة حرارة بين محتوى الماء من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، وكمية بيكربونات الكالسيوم ، التي يمكن أن تبقى على شكل محلول ، وأنه يكفي ، مع بعض أنواع المياه ، ارتفاع طفيف في درجة الحرارة ، لقلب هذا التوازن ، والتسبب في ترسيب كربونات الكالسيوم .

الجدول 2ـ 2 : ذوبانية كربونات الكالسيوم ، والمغنزيوم ، والصوديوم ، بدرجة 212 ف

الاسم	الصيغة	الذوبانية كـ $CaCO_3$	
		PPM	غ/جالون
كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	13	8 . 0
كربونات المغنزيوم	$MgCO_3$	75	4 . 4
كربونات الصوديوم	Na_2CO_3	289000	16900

وهناك ظاهرة مشوقة ، هي الترسب العرضي لبعض كربونات الكالسيوم في مياه البرك ، وذلك الترسب الذي تسببه المتعضيات المجهرية . إذ تقوم بعضها في ظل ظروف إيجابية باستهلاك جميع محتوى الماء من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، وبعض من محتوى البيكربونات من ثاني أكسيد الكربون ، فتشكل منه شيئاً من الكربونات الطبيعية . فإذا زادت كمية الكربونات ، المتشكلة على هذا النحو ، عن 1 غ / جالون *17 ppm* فإنه قد يحدث ترسب لجزء من عسرة الكالسيوم .

قشرة كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم

Calcium Carbonate and Magnesium Hydroxide Scale

في درجات الحرارة السائدة في المرجل البخاري تفتت بيكربونات الكالسيوم ، وبيكربونات المغنزيوم لتشكيل القشرة ، ولكن حيثما كانت قشرة الكالسيوم متشكلة من كربونات الكالسيوم ، فإن المغنزيوم يترسب على شكل هيدروكسيد مغنزيوم . هذا لأن بيكربونات المغنيزيوم ، تتفكك أولاً إلى كربونات مغنزيوم ، تتفاعل مع الماء ، لتشكيل هيدروكسيد المغنيزيوم ، وثاني أكسيد الكربون الطليق .

تخضع بيكربونات الصوديوم في المرجل لتفكك مماثل ، ولكن نظراً لأن الصودا الكاوية ذوابة جداً ، فإنها تبقى على شكل محلول .

وفيما يلي هذه التفاعلات :

(1) $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$

(2) $Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$

$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + CO_2$

(3) $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$

$Na_2CO_3 + CO_2 \rightarrow 2NaOH + H_2O$

يغادر ثاني أكسيد الكربون المتشكل الغلاية مع البخار . وفي حالة كربونات الصوديوم يتجاوز التحويل إلى هيدروكسيد صوديوم غالباً الـ 80 % .

إن هيدروكسيد المغنيزيوم في القشرة قد يفقد جزءاً من محتواه المائي بالتحميص فوق الأنابيب ، ويظهر جزئياً على شكل أكسيد مغنزيوم . ونعبر عن ذوبانية هيدروكسيد الكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم كأجزاء من $CaCO_3$ بالمليون ، بدرجة 212 ف ، كما تظهر في الجدول 3 . 2 .

الجدول 2.3 ذوبانية هيدروكسيدات الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم بدرجة 212 ف .

الاسم	الصيغة	الذوبانية كـ $CaCO_3$	
		غ / جالون	ppm
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$	51.8	888

هيدروكسيد المغنزيوم	$Mg(OH)_2$	0.5	8
هيدروكسيد الصوديوم	NaOH	569000	975000

تنقص ذوبانية كل من كربونات الكالسيوم ، وهيدروكسيد المغنزيوم ، تحت تأثير درجات الحرارة والضغوط المرتفعة . ففي ضغط *210 psi* ودرجة حرارة 392 ْ ف ، تكون ذوبانية كربونات الكالسيوم أقل بقليل من *5 ppm* وتكون ذوبانية هيدروكسيد المغنيزيوم أعلى بقليل فقط من *1 ppm* معبراً عنها بـ $CaCO_3$. ولهيدروكسيد الكالسيوم أيضاً ذوبانية تنقص مع ارتفاع درجة الحرارة . وتكون ذوبانيته بدرجة 32 ف ، *2390 ppm* وبدرجة 212 ف *888 ppm* ، وبضغط *210 Psi* ودرجة حرارة 392 ْ ف ، *134 ppm* ، معبراً عنها بـ $CaCO_3$ ولكن لا يحتمل وجوده في قشرة الغلاية ، إن لم يكن ماء تغذيتها قد عولج بالكلس على نحو مفرط جداً .

قشرة كبريتات الكالسيوم Calcium Sulphate Scale

كبريتات الكالسيوم هي الملح الوحيد المشكل للقشرة في عسرة اللاكربونات . من أجل كبريتات المغنزيوم وكلوريدات ونترات كل من الكالسيوم والمغنزيوم ذوبانية تتجاوز *150000 ppm* (وزناً) معبراً عنها بـ $CaCO_3$ حتى بدرجة 32 ف ، وتزيد عن *356000 ppm* بدرجة 212 ف . إن لكبريتات الكالسيوم على شكل جبس منحنى ذوبانية يُظهر عند ارتفاع درجة الحرارة ارتفاعا إلى حوالي 104 ف ثم ينخفض بعد ذلك حتى 220 ف إلى مستوى ذوبانيته عند درجة 32 ف ، وفي درجة حرارة الغلاية ، يهبط بسرعة حتى أنه عند ضغط 322 Psi ، يكون فقط حوالي *40 ppm* معبراً عنها بـ كربونات كالسيوم . ويظهر هذا الجدول 2.4.

الجدول 4 .2 كبريتات الكالسيوم : الذوبانية عند 32. 428 ف

فْ	الذوبانية كـ $CaCO_3$	
	غ / جالون	ppm

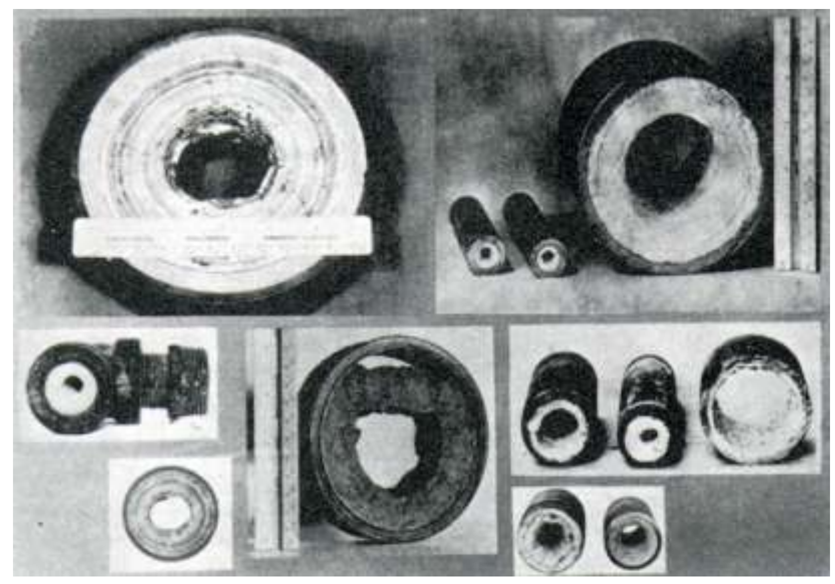
1293	75.5	32
1551	90.5	104
1246	72.7	212
103	6	338 (ضغط 100 / باونداً / إنش مربع)
56	3.3	392 (ضغط 210 / باونداً / إنش مربع)
40	2.3	428 (ضغط 210 / باونداً / إنش مربع)

ومن هنا يتضح إنه لا يجب التساهل من أجل كبريتات الكالسيوم في مياه التبريد (بما يزيد عن *1200 ppm* ، أو (7غ / جالون) ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$. ويؤخذ هذا بعين الاعتبار في المعالجة الحمضية لمياه التبريد كما سيرد في الفصل التاسع . ومن الضروري أيضاً إدراك أن التفريغ على بركة تبريد ينظم بحيث يبقى محتوى كبريتات الكالسيوم دون *1200 ppm* ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$

وبسبب ذوبانيتها المنخفضة في درجات الحرارة السائدة في الغلايات البخارية ، وبسبب تشكيلها لقشرة صلدة ولاصقة ، فإنه لا يمكن التساهل بأية كمية من كبريتات الكالسيوم في الغلايات البخارية

التوصيل الحراري للقشور Thermal Conductivities Of Scales

تبين من القياسات التي أجراها عدد من المهتمين أن الموصلة الحرارية (K) لقشور المراجل السريعة الالتصاق ، والمعبر عنها Btu في القدم المربع مساحة ، في القدم ثخانة ، في الساعة ، في درجة الحرارة 1 ف ، تقع بين (0.66) و (2.06) بقيمة وسطية تقارب 1.5 وتؤثر بالتوصيل الحراري درجة المسامية في القشرة ، لأن المسام تمتلئ ، وكما يبدو بالبخار بدلاً من الماء ، ضمن شروط تشغيل المرجل ، فتخفض بالتالي الموصلية الحرارية المستخدمة عادة . وهناك بعض من دليل على أن لهذه القشرات المسامية موصليات حرارية فقط من Btu = 0.2 في القدم المربع في القدم المكعب في الساعة في 1 ف .



الصورة 3 .2 3 أنابيب ومعدات للماء الحار مكسوة بالقشور . وفي المرور عبر مسخّن مائي ، لا يتم الوصول إلى توازن كيميائي ، فتتشكل قشرة ، ليس في المسخن المائي فقط ، ولكن أيضاً في كامل جهاز توزيع الماء الحار .

وللمقارنة ، تبلغ الموصلية الحرارية للطوب الحراري حوالي 0.75 والفولاذ حوالي 26 . ولذلك تبلغ موصلية قشور الماء العسر فقط حوالي 3 . 8 % (المتوسط 5 %) من الموصلية الحرارية للفولاذ ، أو تقريباً كالموصلية الحرارية للطوب الحراري . وبعبارة أخرى ، إن قشور الماء العسر هي كالمواد الجيدة للعزل الحراري . ولسوء الحظ تتشكل القشرة في الأمكنة الخطأ ، حيث تكون مسؤولية عن تسميتها (العزل في غير موضعه) .

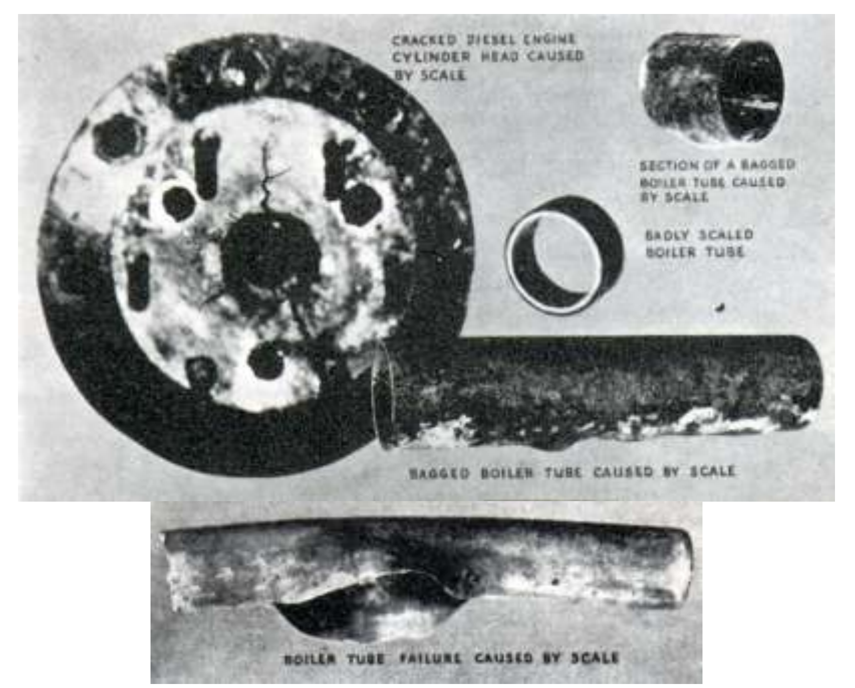
لإمرار عدد ما من الوحدات الحرارية ، عبر منطقة معينة من وعاء ما ، في فترة مفترضة من الزمن ، يكون من الضروري المحافظة عل تفاضل محدد لدرجة الحرارة بين داخل وخارج الوعاء . فإذا كانت جدران الوعاء مؤلفة من معدن نظيف غير مكسو بالقشور ، يصبح تفاضل درجة الحرارة ، الذي تجب المحافظة عليه أقل بكثير مما لو كان المعدن مكسواً بالقشور . فإلى أي مدى يجب رفع التفاضل الحراري هذا من أجل

مختلف معدلات الانتقال الحراري عند وجود 10 / 1 إنشاً من القشرة ؟ يظهر هذا في الجدول 5 . 2 ، حيث تم حساب ذلك لقشرتين لهما الموصليتان الحراريتان (K) 1.5 و 0.75

إن خصائص العزل الحراري لقشور الماء العسر ، غير مرغوب فيها ، ليس فقط في المراجل البخارية ، والمسخنّات المائية ، وإنما أيضاً في معدات تبريد الماء، كالمكثفات ، ومحركات الاحتراق الداخلي ، والمعدات ذات الدثار المائي . يضاف إلى ذلك ، أن هذه الترسبات القشرية لا تشكل طبقة منتظمة متساوية الثخانة ، بشكل تتوزع فيه فوق كامل منطقة انتقال الحرارة بل إنها بدلاً من ذلك تتشكل بسرعة كبيرة ، وبالتالي تكون أكثر ثخانة في نقاط ، تكون فيها سرعة انتقال الحرارة أكبر .

يُعتقد أن درجة الحرارة القصوى للتشغيل الآمن لمرجل من الفولاذ الطري ، يجب أن تكون حوالي 900 ف . وسيؤدي ارتفاع درجات الحرارة فوق هذه النقطة على الانتفاخ ، أو التعطل . لقد نتجت أعطال الأنابيب في الأجزاء العالية الإشعاع في المراجل الحديثة عن ثخانة قشرية هي أدنى من 0.04 إنشاً ثخانة . ويتفق هذا تماماً مع الأرقام المحسوبة ، لأننا لو افترضنا أن K =0.75 كموصلية حرارية للقشرة ، فإن عملية حسابية بسيطة ، سوف تظهر أن ثخانة القشرة 0.04 ، سوف تكفي لجعل درجات حرارة المرجل تتجاوز ْ900 ف ، في معدلات انتقال حرارية هي 100.000 But أو أكثر / قدم$_2$ / سا ، في المراجل التي تعمل بضغوط 400 Psi أو أكثر . حتى الثخانات الأقل ، في الضغوط الأعلى ، تسبب ارتفاع درجات حرارة معدن المرجل إلى ما فوق ْ900 ف ، وعند مواجهة قشرة مسامية ، فيها قيمة K = 0.2 أو أقل ، فإن الحسابات تدل على أن ثخانة القشرة ، حتى لو كانت أقل من 0.01 إنشاً ، قد تكون كافية لإحداث التعطل في معدن المرجل .

والقشرة غير مرغوب فيها أيضاً في الدثارات المائية . ففي محركات الديزل



الصورة 2.4 . أنابيب مرجل ومحرك ديزل تكسوها القشور . وبسبب ضعف معامل موصليتها الحرارية ، وتشكل القشرة في الآنية المسخنة مباشرة ، أو في محركات الاحتراق الداخلي ، فإنها تظهر خطر الإفراط في التسخين ، والتعطل الدائم للمعدن .

والمحركات الأخرى الداخلية الاحتراق ، تسبب السطوح المكسوة بالقشور في الدثارات المائية ، فروقاً كبيرة في درجات الحرارة بين الجهة الحرارية والجهة المائية ، بنفس الطريقة ، كالمرجل البخاري .

ويزداد أيضاً الفارق الحراري مع ازدياد القشرة ثخانة إلى أن تصبح في النهاية كبيرة جداً ، فيسخّن المعدن بإفراط ، ويتعطل . تميل قلانس الاسطوانات بشكل خاص فوق محركات الديزل إلى التصدع بسبب الترسبات القشرية . قد لا يحدث التعطل نتيجة لفرط التسخين ، في المكثفات السطحية والأوعية الأخرى غير المسخنة لأن الفارق الحراري ضعيف جداً . في المكثف السطحي ، الذي يعمل على بخار العادم وتحت فراغ جزئي ، قد يكون هناك طبعاً فارقاً حرارياً أكثر من 50 ف بين الجانب البخاري والجانب المائي من المعدن . وبسبب صغَرِ الفارق في درجة الحرارة تكون

القشور مزعجة في المكثفات ، لأن القشرة ، حتى ولو كانت رقيقة سوف تزيد من الفارق في درجة الحرارة ، فتنقص بالتالي الفراغ في العادم ، وتقلل من فعالية المحرك الأساسي .

وقشور الماء العسر أيضاً غير مرغوب فيها إلى حد كبير ، لأنها تضعف فعالية القطر في خط الأنابيب ، فتضعف بالتالي إلى حد كبير ، قدرته الحاملة . وليس من النادر أن نرى أنبوب 6إنشاً ، حاملاً لطبقة إنش واحد من القشرة وبذلك تنخفض فعالية القطر إلى 4إنشاً ، وقدرة حمله إلى أقل من نصف ما كانت عليه أصلاً وليس من الضروري أن تكون القشور ثخينة جداً لإنقاص معدلات الدفق ، وخصوصاً في حالة الأنبوب الأصغر . إن قشرة بثخانة 1/4 إنشاً فقط ، في أنبوب قياس إنش واحد مثلاً ، سوف تضعف فعالية قطره إلى نصف إنش ، وسيكون معدل الدفق ، الذي يمكن تحصيله ، فقط 1/4ماكان عليه أصلاً .

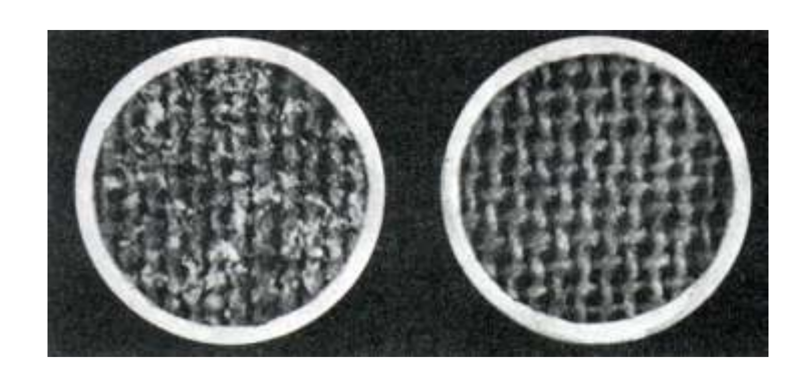
فقدان الصابون بالعسرة Soap Wastage by Hardness

عندما يتلامس الماء العسر مع الصابون ، تتفاعل أيونات الكالسيوم والمغنزيوم مع أيونات الأحماض الدهنية ، لترسب صوابين الكالسيوم والمغنزيوم الغير ذوابة .

الجدول 5 . 2 القشرة : ارتفاعات درجات الحرارة ، في مختلف معدلات الحرارة ، الناتجة عن ثخانة قشرتين بمقدار 10 / 1 إنشاً .

معدل انتقال الحرارة	فرق درجة الحرارة سببه قشرة بسماكة 1/10إنشاً (فْ)	
(But / قدم2/ سا)	K = 1.5	K = 0.75
2000	11	22
5000	28	55
10000	56	111
20000	111	222

444	222	40000
667	333	60000
889	444	80000
1110	556	100000
1330	667	120000
1560	778	140000



الصورة : 5 . 2 . صورة مجهرية فوتوغرافية للقطن . إلى اليسار: مغسول بماء عسر .
إلى اليمين : مغسول بماء عسرة (0) .

يرتفع هذا التدمير بعسرة الماء ، مع الصابون النقي إلى 1.5 باونداً من الصابون في كل 1000جالوناً من الماء ، وذلك لكل قمحة في الجالون (ppm 17) من العسرة الموجودة ، كما يتبين في الجدول 6 . 2 .

بما أن تدمير الصابون يتناسب بصورة مباشرة مع مقدار العسرة , يمكن

استخدام محلول صابون قياسي لقياس العسرة لمختلف أنواع المياه ويدعى هذا الرقم غالباً (عسرة الصابون) وينبغي أن يتوافق هذا مع عسرة الماء ، عندما يقاس بالطرق الوزنية ، ولكن شيئاً من عدم الدقة في إجراء القياسات ، قد يؤدي إلى تناقضات محسوسة في النتائج . وكان هذا هو واقع الحال في طريقة كلارك القديمة

وكانت بالميتات البوتاسيوم أو طريقة بليخر *Older Clark Method* *Blacher Method* تحسيناً ، ولكن الطريقة المستخدمة ، والأوسع انتشاراً ، هي المعايرة بالـ EDTA التي تعطي نتائج سريعة وممتازة .

يستنتج من الجدول 6 . 2 أن تلف الصابون كبير في مصانع النسيج ، والمغاسل ، والصناعات الأخرى ، حيث تجرى عمليات التنظيف بالصابون ، وذلك عند استخدام المياه العسرة ، ولذلك ، فإن تيسير الماء الذي يستخدم في هذه الصناعات يوفر الكثير ، إن تيسير الماء لا يوفر فقط الصابون ومواد التنظيف الأخرى ، بل يحدث تنظيفاً أفضل لا يضاهى ، ويؤمن ناتجاً أرقى . وفي مصانع النسيج والمغاسل يكون للمواد المغسولة مظهراً أفضل ، وملمساً أنعم ، وعمراً أطول

الجدول 6 . 2 إتلاف الماء ، من مختلف أنواع العسرة للصابون .

العسرة كـ $CaCO_3$		فقدان الصابون ليبرة /1000جالوناً	العسرة $CaCO_3$		ليبرة / 1000 جالوناً
غ /جالون	ppm		غ / جالون	ppm	
1	17	1.5	16	274	24
2	34	3	17	291	25.5
3	51	4.5	18	309	27
4	69	6	19	326	28.5
5	86	7.5	20	343	30
6	103	9	22	377	33
7	120	10.5	24	411	36
8	137	12	26	446	39
9	154	13.5	28	480	42
10	171	15	30	514	45
11	189	16.5	35	549	52.5
12	206	18	40	583	60

67.5	771	45	19.5	223	13
75	857	50	21	240	14
90	1028	60	22.5	257	15

وفي الصباغة ، يتمتع الماء اليسر بالأهمية في تأمين صبغ متساو ، خال من البقع والخطوط . وفي تصنيع الرايون *Rayon* وجد أن من الأهمية الزائدة ، ضرورة التخلص من عسرة الماء ، حتى لو كانت لا تتجاوز أجزاء قليلة في المليون, كما وجد أن الماء ذا المحتوى (0) من العسرة ، هو المطلب الأول .

والماء العسر أيضاً ، عقبة في كثير من الصناعات الأخرى ، حتى عند عدم استخدام الصابون في عمليات المعالجة . ففي المغاطس القلوية مثلاً ، يشيع تشكل القشرات ، فتسبب كثيراً من الصعوبات في المعالجة . وسوف ندرس ، بتفصيل أوسع ، هذه المعالجات والصعوبات في الفصول 5 و 6 و 7 .

عسرة الموارد المائية الصناعية Hardness Of Industrial Water Supplies

إن تحاليل مختلف الموارد المائية والتي أوردناها في الفصل الأول ، كافية لإعطاء فكرة واضحة عن معدلات العسرة التي قد تُواجه في مختلف الموارد المائية الصناعية . ولكن محاولات تصنيف هذه الموارد ، كموارد يسره ، وعسرة باعتدال ، وعسرة جداً ، وعسرة بإفراط , هو تصنيف خادع لأن التفاوتات المسموحة للعسرة ، من مختلف الاستخدامات الصناعية ، تختلف إلى حد كبير ، غالباً حتى في نفس المصنع .

قد يعتبر الماء بعسرة *85 ppm* (5 غ / جالون) **يسراً** بما يكفي للماء اللازم في مصنع ورق ، لكنه **عسر** جداً للاستخدام في مراحل المصانع . أو قد يُعتبر الماء

بعسرة *50 ppm* (3غ / جالون) **يسراً جداً** من قبل معبئ زجاجات الأشربة المكربنة ، بينما قد يعتبره مُصنع الرايون **عسراً** وغير مرضٍ . وسوف نناقش مسألة المتطلبات المائية لمختلف الأغراض الصناعية بتفصيل كامل في الفصول 5 – 9 .

إن ماء (يسراً) كهذا ، عندما يستخدم في المغاسل ، ومعالجات التنظيف المماثلة يكون(عسراً جداً) ، بحيث يبدد من 45.35 % من إجمالي الصابون المستخدم ، ولنوضح ذلك بطريقة أخرى ، كما يظهر في الجدول 2.6 ، أن كل 1000جالوناً ستتلف 7 .5 باونداً من الصابون النقي . ولذلك على الرغم من اعتبار هذه المياه (يسرة) بما يكفي لمعظم الاستخدامات المنزلية ، وكثيراً ما تنصح البلديات بتخفيف عسرة الماء الخام إلى هذه الدرجة ، فإنها تعتبر (عسرة) جداً بالنسبة لمعظم الاستخدامات الصناعية .

ولذلك يبدو واضحاً ، أنه بدلاً من محاولة تصنيف الموارد المائية بهذه العبارات الفضفاضة جداً ، والغير محدودة ، فإن من الضروري دراسة تركيب كل ماء بالاقتران مع الشروط الأساسية لاستخداماته النهائية المختلفة . ومن الضروري أيضاً معرفة أية اختلافات متوقعة في التركيب .

ملاحظة : على الرغم من أن متوسط استهلاك الماء في البلديات هو حوالي 100 جالوناً للشخص الواحد يومياً . فإن حوالي 1 .2 جالوناً فقط للشخص الواحد ، يتفاعل بصورة كاملة مع الصابون . ولأول وهلة يبدو هذا قليلاً إلى حد ما ، ولكن يجب اعتبار أن الشخص عندما يستحم ، فإنه لا يستخدم صابوناً بما يكفي لرفع الرغوة في كل الماء الموجود في حوض الاستحمام . ويقوم ، بدلاً من ذلك ، بعزل أجزاء من جسمه بالصابون ، فقط عندما يكون خارج الماء ، ثم يشطفه في الحوض . ومن الواضح أن الشيء نفسه ينطبق على حمام الرّش (الدّش) أو على الغسل في حوض غسل . وبالمقابل ، إن كل الماء المستخدم في عمليات الرغو ، عند غسل الصحون ، أو في الغسالة ، يتفاعل بصورة كاملة مع الصابون . ومع ذلك ، فإن كلفة الصابون التالف في ذلك تقارب 1 % من الماء الخام العسر ، وهي كبيرة جداً ، بحيث تصل إلى ضعفين أو ثلاثة أضعاف كلفة المواد الكيميائية المستخدمة في تيسر كامل الماء . ولهذا عندما تقوم البلدية بـ (تيسير) ماء خام بعسرة 500 ppm - 200 نزولاً إلى 85 ppm ، فإنها لا توفر فقط ماء مناسب تماماً لمعظم الاستخدامات المنزلية ، بل تختزل قائمة الصابون لكل مواطن إلى جزء مما كانت ستكون عليه مع الماء الخام وإجمالاً تكون توفيرات الصابون هذه كبيرة جداً بحيث تقدر في كثير

من المدن بمئات الآلاف من الدولارات سنوياً .

ذكرنا في الفصل الأول ، أن تركيب ماء النهر ، يخضع لتقلبات خلال نطاق واسع تقريباً . وقد تكون العسرة القصوى في بعض هذه الأنهار أعلى من العسرة الدنيا بثلاث مرات ونيف ، بينما قد تكون العسرة في أنهار أخرى بمقدار ثمانية أضعاف العسرة الدنيا . ولنوضح بطريقة أخرى إن أصغر فرق بين أدنى وأقصى عسرة ، هو *13 ppm* (0.8غ / جالون) وأكبر فرق هو *683 ppm* (40غ / جالون) .

وعلى أية حال ، يجب جمع المعلومات التحليلية كاملة بقدر الإمكان ، وذلك فيما يتعلق بتغيرات التركيب لأي ماء معدّ لتأمين مورد مائي صناعي . وقياسات درجات الحرارة مهمة أيضاً ، وخصوصاً إذا كانت مياه النهر ستستخدم لأغراض التبريد . وسوف نناقش هذا الملمح الأخير بتفصيل أكبر في الفصل التاسع .

ولكن المياه السطحية من البحيرات الكبيرة ، تكون عادة ثابتة تماماً في تركيبها . على الرغم من مواجهة تغيرات في درجات الحرارة . قد تظهر بعض البحيرات الصغيرة والبرك والخزانات تغيرات فصلية هامة في تركيبها ، لكنها تكون عادة أقل حدة بكثير في تغيراتها مما هي عليه الحال في مياه الأنهار . ويظهر البعض الآخر مجالات صغيرة فقط في التركيب .

إن مورداً مائياً جوفياً ، وخصوصاً إذا سحب من بئر عميقة ، يظهر عادة تقلبات طفيفة فقط في التركيب . وتكون درجة الحرارة في مياه هذه الآبار ثابتة خلال كامل العام ، بشكل لافت للنظر .

وتظهر أيضاً كثير من الآبار الضحلة مجالات ضيقة فقط في التركيب ، بينما تختلف آبار أخرى ضمن مدى واسع . قد تتلوث مياه الآبار ، وخاصة الضحلة منها، بالفضلات الصناعية . ففي إحدى الحالات ، أظهرت بئران ضحلتان كبيرتان ، في وقت ما ، حموضة طفيفة ، بسبب فضلات تجارية ، ملقاة في حفرة النفايات على بعد

حوالي 600 قدماً منهما . وفي حالة أخرى أظهرت آبار قرب جدول صغير ، يحمل فضلات حمضية ، محتوى محسوساً من كبريتات الحديدي وكبريتات الألمونيوم ، وحمض الكبريت إضافة إلى اختلافات في العسرة .

تيسير الماء Water Softening :

تعرف المعالجات التي بواسطتها يتم تخفيف عسرة الماء ، أو إزالتها باسم تيسير الماء . أن مختلف معالجات تيسير الماء ، والفصول الموصوفة فيها هي

(1) طريقة تيسير الماء بالزيوليت :

مبادلة الكاتيونات بالصوديوم

Sodium Cation Exchange – الفصل 15

(2) طريقة مبادلة الكاتيونات بالهيدروجين

Hydrogen Cation- exchange . الفصل 16

(3) طريقة نزع المعادن بمبادلة الأيونات . الفصل 17

(4) التقطير . الفصل 17

(5) طريقة الجير. صود لتيسر الماء على البارد . الفصل 18

(6) طريقة الجير . صودا لتيسير الماء على الساخن . الفصل 19

أملاح الصوديوم Sodium Salts

إن أملاح الصوديوم التي توجد في مختلف الموارد الطبيعية للماء هي : الكبريتات ، والكلوريدات ، والنترات ، والبيكربونات ، ونادراً الكربونات .

وفيما يتعلق بالكميات الموجودة منها في مختلف الموارد العذبة للماء ، فإنها

تختلف بشكل واسع . بين مختلف مياه الأنهار والبحيرات والينابيع والآبار ، تتراوح أملاح الصوديوم من 2 . 98 % من إجمالي الأملاح الموجودة ، والرقم المتوسط هو 25 % . وأملاح الصوديوم هذه ذوابة جداً في الماء بارداً أو حاراً ، كما يظهر في الجدول 8 . 2 (الذي يتضمن أيضاً الهيدروكسيد) . وبسبب صفة الذوبانية العالية ، فإن أملاح الصوديوم لا تشكل قشرات عند التسخين أو التبخير في المراجل البخارية ، مالم يتطاول التبخير إلى فترات طويلة لا ضرورة لها . وهذه الأملاح لا تتلف الصابون ، لأن الصوابين الأكثر انتشاراً في الاستخدام هي أملاح الصوديوم لبعض من الأحماض الدهنية العالية ، ولا يوجد تفاعل بين أملاح الصوديوم في الماء والصابون .

ملاحظة: إن المحاليل المركزة لأملاح الصوديوم ، تطرح الصابون من المحلول ، ويعرف هذا التأثير باسم (الفصل بالتمليح Salting Out) . لا يتبدل تركيب الصابون بالفصل بالتمليح ، ويمكن أن يحل من جديد في الماء العذب أو عن طريق تخفيف المحلول الملحي .

ولذلك ، فإن وجود كميات معتدلة من أملاح الصوديوم في المورد المائي من أجل الأغراض الصناعية ، مهم قليلاً ، أو أنه لا يتمتع حتى بهذه الأهمية الضئيلة . وهي لا تزيد كمية التفريغ على المرجل البخاري ، وإذا وجدت بيكربونات الصوديوم بكمية كبيرة ، فقد ينصح بإزالتها ، أو بمعادلة أكثرها بحمض الكبريت ، ومن ثم بتهويتها ، أو بتحرير الماء المعالج بالحمض من الغاز ، وذلك قبل تلقيمه للمرجل لإنقاص محتوى البخار من ثاني أكسيد الكربون الطليق .

الجدول 8 . 2 أملاح الصوديوم : ذوبانية بيكربونات ، وكربونات ، وكلور ، وهيدروكسيد ، ونترات ، وكبريتات الصوديوم

الأسم	الصيغة	الذوبانية كأجزاء CaO_3 في المليون	
		(32 ْ ف)	(212ْ ف)
بيكربونات الصوديوم	$NaHCO_3$	38400	تتفكك

289000	62600	Na_2CO_3	كربونات الصوديوم
241000	225000	Na Cl	كلور الصوديوم
975000	370000	NaOH	هيدروكسيد الصوديوم
378000	248000	$NaNO_3$	نترات الصوديوم
298000	33200	$NaSO_4$	كبريتات الصوديوم

وتخلف بيكربونات الصوديوم أيضاً مسحة صفراء على الملابس التي تغسل بماء يحتويها بسبب تشكل الاوكسي سيليلوز *Oxy cellulose* عندما تتركز البيكربونات بتأثير حرارة الحديد . ويكون التأثير ملحوظاً جداً عندما تتجاوز قلوية بيكربونات الصوديوم *200 ppm* ، وتمكن ملاحظته فوق *100 ppm* ولكنه لا يثير الاعتراض عندما يكون أدنى من *60 ppm* ، ويعبر عن الجميع كـ $CaCO_3$.

وبعض مياه الآبار يحمل كثير منها عسرة خفيفة إلى حد ملحوظ , ومن الممكن جداً عزو ضعف العسرة إلى التأثير الميسِّر لرواسب الزيوليت على المياه الجوفية المتحركة ببطء شديد . وقد تم الحصول على مياه مماثلة تحت ما *يعرف بالغلوكونيت glauconitic* (الرمل الأخضر *green sand*).

إن أملاح الصوديوم غير مرغوب فيها ، في معالجة أو تصنيع بعض النواتج السليلوزية ، والعوازل الكهربائية ، والعقاقير والمواد الكيماوية الحساسة والمطاط التركيبي ، واللدائن ، ومواد التصوير الفوتوغرافي ، والأدوات المطلية بالفضة ، وكثير من المواد الأخرى . إن المياه ذات القلوية الصوديومية العالية ، هي غالباً غير مرغوب فيها في المراجل البخارية العالية الضغط والمغاسل ومصانع النسيج .

لقد كان التقطير سابقاً ، هو الطريقة الوحيدة المعروفة ، لإزالة أملاح الصوديوم من الماء . واليوم يمكن إزالة بيكربونات الصوديوم والكبريتات والكلوريد والنترات بواسطة المبادل الكاتيوني الهيدروجيني ، تليها معالجة بمبادل الأنيونات . وسوف نأتي

على وصف إزالة أملاح الصوديوم في الفصول التالية :

. طريقة مبادلة الكاتيونات بالهيدروجين في الفصل 16 .

. وطريقة نزع المعادن بمبادلة الأيونات في الفصل 17 .

. والتقطير في الفصل 17 .

السيليكا *Silica*

توجد السيليكا في موارد الماء الطبيعية بكميات تتراوح من *1 ppm* إلى ما يزيد على *100 ppm* . في تحاليل المطر ، والبَرَد ، والثلج ، تتراوح محتويات السيليكا من *ppm* 2,8 - 0,1 وفي تحاليل مختلف المياه السطحية والجوفية تتراوح محتويات السيليكا من *1 - 107 ppm* . وسوف نلاحظ أن هذه المحتويات تتفاوت ضمن مدى واسع ، إذ يتراوح الرقم الأقصى من ضعفي الرقم الأدنى إلى أربعين ضعفاً له .

إن ما أوردناه يشير إلى محتوى السيليكا الذائب ، وليس إلى السيليكا ، التي قد تكون على شكل مادة معلقة . يمكن إزالة المادة المعلقة من المورد المائي ، بواسطة التخثر ، أو الترشيح ، لكن تأثير هذه الطرق ضئيل في تخفيف المحتوى للسيليكا .

والسيليكا على وجه الخصوص ، غير مرغوب فيها في المراجل الحديثة العالية الضغط ، حيث تحمل ميلاً واضحاً لتشكيل القشرات . فإذا كانت عسرة الكالسيوم موجودة في المحلول الملحي للمرجل فقد تكون القشرة المتشكلة ، هي سيليكات الكالسيوم ، وإذا كانت الألومينا الذوابة موجودة ، فقد تتشكل قشرة ألومينو سيليكات ، مثل الأنالسيت *Analcite* ، وفي ظل ظروف أخرى ، قد تتكون القشرة كلياً تقريباً من السيليكا . وقشرات السيليكا هذه صلدة ، شفافة جداً ، وسريعة الالتصاق ، وتصعب إزالتها . وموصليتها الحرارية عادة منخفضة جداً . كثيراً ما ترحل السيليكا مع البخار ، لتشكل قشرة في أنابيب فوق التسخين ، وعلى ريش (أشفار) التربين ، وعلى الرغم من نسبة هذا التأثير عادة إلى حامل آلي ، إلا أن هناك توضيح آخر سبق

شرحه أي أن السيليكا ذوابة إلى مدى معين في البخار العالي الضغط . ففي المراجل البخارية ذات الضغط الخفيف والمعتدل ، يمكن عادة تفادى تشكل القشرة عن طريق المحافظة على زيادة بسيطة في الفوسفات ، وعلى نسبة 1 : 1على الأقل بين القلوية والسيليكا في محاليل المرجل الملحية . أما في المراجل التي تعمل بضغط 600 باونداً / إنشاً مربعاً أو أكثر , كثيراً ما تكون ضرورية معالجة الماء الإضافي لتخفيف محتوى السيليكا فيه . وذلك ليس فقط لتفادي القشرة في المراجل ، ولكن أيضاً لمنع السيليكا من الترسب على أشفار التربين لأن الترسب قد يحدث ، حتى عند عدم تشكل رواسب خطيرة للسيليكا في المراجل .

وفي أكثر المياه المعالجة تحمل السيليكا كما هو معروف ، تأثيراً ضئيلاً ضاراً ، على النواتج ففي حالة بعض النواتج السيليلوزية ، قد يزيد المحتوى العالي من السيليكا في المياه المعالجة ، المحتوى الرمادي للناتج النهائي . وقد ذكر أيضاً أن محتوى السيليكا العالي ، قد يعطي الورق صفات (صفيحية) . يمكن بالمعالجة المناسبة ، تخفيف محتوى الماء من السيليكا إلى مقادير لا تثير الاعتراض .

فإذا كان الماء الذي سيعالج ، ماء سطحياً ، ويحتاج إلى تخثير ، فإن استخدام كبريتات الحديد كمخثرٍّ ، ستساعد في تخفيف السيليكا . كما أن الحجر الدولوميتي ، أو المغنسيا المنشطّة ، وخصوصاً في طريقة الجير . الصودا الساخنة ، فعال جداً ، واقتصادي في تكاليف المعالجة . وتستخدم أيضاً المعادن نفسها في طريقة الجير . الصودا الباردة . تمكن إزالة السيليكا ، في طرق نزع المعادن بمبادلة الأيونات ، عن طريق المبادلة المباشرة للأنيونات في المبادل الشديد للأنيونات القاعدية ، والتي أعيد تنشيطها بالصودا الكاوية .

الحديد ***Iron :***

يوجد الحديد عملياً في كافة الموارد المائية ، لكن كمياته تهمل في جميع

الاستخدامات الصناعية تقريباً ، عندما تكون بنسبة *0,1 ppm* فما دون . قد يوجد الحديد في مختلف الموارد المائية في واحد أو أكثر من أشكال أربعة :

(1) إذا وجد الحديد في مياه الآبار العميقة ، بكميات تزيد على *1 ppm* فإنه يوجد ، بشكل ثابت تقريباً على شكل بيكربونات الحديد الذوابة ، عديمة اللون . وتكون هذه المياه شفافة تماماً ، عديمة اللون عند سحبها لكنها عند التركيد ، بالتماس مع الجو تتعكرّ ببطء ، وأخيراً ترسب راسباً مصفراً إلى بنيّ محمرّ من هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$. إن كميات الحديد الموجودة في الغالبية العظمى من هذه المياه ، توجد بمدىً أدنى *5 ppm* وبعضها بمدىً *5 – 15 ppm* وقليل جداً منها سيكون فوق الرقم الأخير مع أن كميات عرضية منها ستكون في مدى *40 ppm* أو أكثر . قد يوجد الحديد على شكل بيكربونات الحديد أيضاً ، في تلك المياه الأكّالة التي تحتوي على ثاني أكسيد الكربون إنما الخالية من الأكسجين ، والتي تسبب (التقاط الحديد) من الخطوط الرئيسية للماء .

(2) إن (المياه الحمراء) المعروفة التي تنتج عن :

(أ) تأثير المياه الأكّالة ، التي تحتوي على الأكسجين المنحل ، على شبكة الأنابيب الحديدية .

أو (ب) عن تهوية الماء الذي يحتوي على بيكربونات الحديد ، تحمل حديداً معلقاً على شكل أكسيد حديد مميّأ قليلاً أو كثيراً .

(3) قد يوجد الحديد في بعض المياه السطحية ، في كميات تزيد عن *0,1 ppm* في شكل عضوي (مستخلب *Chelated*) . وتظهر هذه المياه عادة لوناً محسوساً .

(4) في مياه المناجم الحمضية ، أو في المياه السطحية الحمضية ، الملوثة بمياه المناجم الحمضية ، أو بالفضلات الصناعية ، قد يوجد قسم من الحديد أو حتى كله على شكل كبريتات الحديد . وقد تحتوي هذه المياه أيضاً على كبريتات المنغنيز ، وكبريتات الألومنيوم ، وحمض الكبريت الطليق ، وهيدروكسيد الحديد المعلق .

إن الموارد المائية التي تحتوي على أكثر من *0,2 ppm* من الحديد هي موارد غير مرغوبة ، تقريباً بالنسبة لكافة الاستخدامات الصناعية ويجب أن يزيد التفاوت المسموح عن *0,1 ppm* وقد اقترحت الجمعية التقنية لصناعة عجينة الورق أن يكون التفاوت المسموح *0,05 - 0,1 ppm* من الحديد (بشكل Fe) ، وذلك من أجل نواتج عجينة الورق الممتازة . و في المدابغ يحدث الحديد في الجلد بقعاً ولطخات . وفي مصانع العجينة والورق يحدث بقعاً وحؤول لون ويسبب ضياعات في التبيض . وفي مصانع النسيج ، والمغاسل ، والمصابغ ، ومصانع الرايون ، إلخ يستحيل عملياً القيام بالتشغيل بماء يحمل الحديد .

والماء حامل الحديد ، يؤازر أيضاً نمو بكتريا الحديد والتي تدعى ، بصورة شائعة بـ (كرينوذركس الحديد *Iron CrenOthrix*) . وتتشكل هذه الناميات بوفرة كبيرة في الخطوط الرئيسية للماء ، وأجهزة إعادة الدوران والأمكنة الأخرى ، بحيث تمارس تأثير ساد ملحوظ ، وتختزل معدلات الدفق . وكثيراً أيضاً ما تتفكك على شكل كتل كبيرة سادّة .

يمكن إزالة الحديد الموجود على شكل بيكربونات الحديد : (1) بوسطة التهوية والترشيح ، أو (2) بالمبادل الكاتيوني ، أو (3) بالترشيح من خلال زيوليت المنغنيز ، كما يمكن إزالة هيدروكسيد الحديد المعلق بواسطة الترشيح (الذي قد سبق بالترسيب) . وتمكن إزالة الحديد الموجود في شكل عضوي أو غرواني عن طريق التخثر والترشيح . كما تمكن إزالة الحديد الموجود على شكل كبريتات الحديد عن طريق التعادل والتهوية والترشيح (الذي قد سبق بالترسيب) . وسوف نأتي على وصف هذه الطرق في الفصل 14 تحت عنوان (إزالة الحديد والمنغنيز) .

المنغنيز Manganese

على الرغم من أن وجود المنغنيز ، ولحسن الحظ ، أكثر ندرة ، إلا أنه أكثر إزعاجاً ويوجد عادة في مياه الآبار الصافية العميقة على شكل بيكربونات منغنيزية

وتحتوي هذه المياه عادة على كميات محسوسة من *Manganese bicarbonate* بيكربونات الحديد ، إضافة إلى بيكربونات المنغنيز فعندما تسحب تكون صافية ، عديمة اللون لكنها عند تركيدها بالتماس مع الهواء ، تتكدر ثم ترسب في العادة أولاً هيدروكسيد الحديد المصفرّ ، أو البني المحمرّ . هذا لأن الحديد يتأكسد بسرعة ، وعند قيم *PH* أكثر من المنغنيز . وفي الواقع ولكي يؤكسد الهواء البيكربونات المنغنيزية بسرعة من الضروري عادة أن تكون قيمة الـ *PH* فيه أعلى من 9ويتحفز التأكسد إذا وجدت أكاسيد المنغنيز العليا ، التي تشكلت سابقاً كوسط تماس .

عندما لا يحتجب بواسطة لون هيدروكسيد الحديد الممتزج ، يشكل المنغنيز المتأكسد رواسب وبقعاً رمادية إلى سوداء . إن لون (كرينوذركس المنغنيز) ، *Manganese Crenothrix* (بكتريا المنغنيز) أسود أيضاً ، وتشكل كبكتريا الحديدناميات سادة في خطوط الأنابيب وأجهزة إعادة الدوران التي تتفكك بين حين وآخر ، على شكل كتل كبيرة . بينما قد تشكل أيضاً كميات أصغر ترسبات سوداء محسوسة . كثيراً ما توجد الكبريتات المنغنيزية *Manganese Sulphate* مع كبريتات الحديد في مياه المناجم الحامضية . إن المنغنيز كالحديد ، قد يوجد في المياه السطحية الملونة في شكل عضوي أو غراوني . وقد يوجد المنغنيز أيضاً على شكل بيكربونات منغنيزية ، في المياه السطحية ، وخصوصاً في المياه الساكنة تقريباً كمياه البحيرات ، أو البرك ، أو السدود السطحية .

ملاحظة : في قياس كميات قليلة من المنغنيز ، من الضروري اتخاذ أدق التدابير الاحتياطية عند تبخر العينات ، لتفادي تلوثها بالغبار . وتستخدم للتغلب على هذه الصعوبات ، طريقة تكثيف العينات عن طريق إنقاصها بالغلي في قوارير ايرلنماير Erlenmeyer Flasks التي تحمى أعناقها بسدادات غير محكمة ، تثبت بحيث تسمح للبخار بالإفلات ، مع إبعاد الغبار في نفس الوقت .

يمكن إزالة المنغنيز ، الموجود على شكل بيكربونات منغنيزية :

1 . بالتهوية والترشيح .

2 . بمبادلة الكايتونات .

3 . بالترشيح من خلال زيوليت المغنزيوم .

وتمكن إزالة المنغنيز الموجود على شكل كبريتات منغنيزية في المياه الحمضية ، عن طريق التعادل ، والتهوية ، والترشيح ، ولكن هذه المياه قد تحتوي أيضاً على المنغنيز المنغنيزي ، الذي يحتاج إلى أكسدة . وسوف نأتي على وصف هذه الطرق في الفصل 14 تحت عنوان (إزالة الحديد و المنغنيز) .

الألومنيوم Aluminum

توجد كميات قليلة من الألومنيوم عملياً في كافة الموارد المائية الطبيعية .

وبما أن هذه الكميات هي عادة ، ذات أهمية ضئيلة ، أو لا أهمية لها ، بالنسبة لمعظم الاستخدامات الصناعية ، فإن الألومنيوم يقاس منفرداً في حالات استثنائية فقط . ومعبراً عنه كـ Al_2O_3 وهي تتراوح من أقل من *0,1 ppm* إلى أكثر بقليل من *8 ppm* . والألومنيوم معدن أمفوتري ، ويميل إلى الانحلال في المياه الحمضية والقلوية . ولذلك يترسب معظمه في مدى ضيق إلى حد ما من قيم PH (حوالي 5,5 . 6,5) ، بحيث يكون ضبط *PH* مهماً ، عندما يستخدم الشب للتخثير . وسندرس هذا الإجراء في الفصل 13 . كثيراً ما تحتوي المياه الحمضية كبريتات الألومنيوم إضافة إلى كبريتات الحديد .

قد يحول محتوى الماء من الألومنيوم إلى استخدامات خاصة :

1 . عن طريق التخثر عند قيمة إيجابية لـ *PH* ، والترسيب ، والترشيح .

2 . بإدخال مبادل كاتيون هيدروجين .

3 . بطريقة مبادل الأيونات لنزع المعادن .

4 . أو بالتقطير .

لا تحتاج أي من هذه الطرق إلى مزيد من التوضيح ، باستثناء الطريقة الأولى ففي هذه الحالة إن إضافة مخثرّ شبّ وتعديل قيمة *PH* إلى النقطة الأكثر إيجابية ،

والترسيب والترشيح ، كل ذلك ينقص عادة المحتوى الكلي للماء من الألومينا إلى حوالي *0,6 - 1,5 ppm* على شكل Al_2O_3 . وسنأتي على وصف الطريقة (1) في الفصل 13, والطريقة (2) في الفصل 16, والطريقتين (3) و (4) في الفصل 17 .

الفلور *Fluoride*

في بعض المناطق تُظهر بعض الموارد المائية الجوفية ، محتوى من الفلوريد الطبيعي . يقوم اليوم عدد كبير من البلديات بفلورة مياه الشرب ، كأجراء صحي للأسنان ، وتزداد هذه البلديات عدداً باستمرار . وفي حالة معالجة ماء الشرب بالفلوريد ، فإن الكميات التي تضاف للموارد البلدية قليلة جداً ، وتتراوح من 0,7 - 1,1 ppm معبراً عنها كـ (F فلورين *Fluorine*) وفي حالة احتواء الموارد المائية على فلوريد طبيعي ، فإن أغلبها يحتوي عموماً على أقل من 1جزءاً / مليون . وتتراوح قلة منها بين الرقم المذكور وبين 8 ppm ويرتفع المحتوى فوق هذا الرقم في حالات استثنائية فقط .

إن ذوبانية الفلوريت *Fluorite* (فلوريد الكالسيوم CaF_2) هي حوالي 16–17 ppm في درجات الحرارة من 65 . 80 ف . وفي الأرقام الصحيحة ، يتطابق هذا مع حوالي 8 ppm من الفلورين .

تبلغ ذوبانية ملح فلور المغنزيوم أكثر من أربعة أضعاف ذوبانية الفلوريت ، لأنها تبلغ ، معبراً عنها كـ MgF_2 حوالي 76 ppm ، بدرجة 65 ف ، وملح فلور الصوديوم ذواب جداً (حوالي 4 % بدرجة 60 ف) .

وبسبب انخفاض ذوبانية فلوريد الكالسيوم فإنه قد يشكل قشرة ولكن هذا نادر الحدوث جدا . ومن نواح أخرى فإن لوجود محتوى بسيط من الفلوريد في الماء أهمية بسيطة أو أنه لا أهمية له بالنسبة لمعظم الاستخدامات الصناعية , ولكن هناك طبعاً

بعض الاستثناءات أحدها ما يختص بتصنيع بعض أغذية الأطفال ، حيث تتبخر المادة من 8 حجماً إلى 1حجماً ومن الواضح مع ماء يحتوي فقط على 1 ppm من الفلوريد ، وسيؤدي هذا إلى تركيز 8 ppm في الناتج النهائي . انظر الفلوريد في الفصل 7 ، بخصوص استخدامه ، وتأثيره في مياه الشرب ، والأشكال التي يمكن أن يضاف بها ، وطرق إزالة الكميات الزائدة منه .

الحموضة المعدنية ***Mineral Acidity***

إن الموارد المائية التي تحتوي على الحموضة المعدنية ، قليلة العدد نسبياً ، وتقتصر عادة على :

(1) مياه المناجم .

(2) المياه الجوفية أو السطحية المجاورة للمناجم ، أو الملوثة بالفضلات الحمضية التجارية .

والحمض الموجود ، بصورة ثابتة تقريباً هو حمض الكبريت , وإضافة إلى ذلك قد يحتوي الماء كبريتات الحديد والألمنيوم والمنغنيز والكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم . ويكون عادة محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق عالياً أيضاً ، وفي حالة المياه الجوفية الحمضية ، كثيراً ما تكون بيكربونات الحديد موجودة . عند اختبار هذه المياه تقدر الحموضة المعدنية عن طريق المعايرة مع محلول قياسي للصودا الكاوية ، باستخدام برتقالي المثيل ككاشف . والنتيجة التي تتضمن حمضاً طليقاً مع أي من المواد المذكورة أعلاه تدوّن كـ (حموضة معدنية طليقة) ، ويعبر عنها كمكافئ لكربونات الكالسيوم .

في المناجم ، يتشكل حمض الكبريت الطليق ، والكبريتات المعدنية ، عن طريق تأكسد المواد الحاوية على الكبريت ، وخصوصاً البيريتات *Pyrites* . وأشهر هذه البيريتات ، هي المركسيت *Marcasite* أو بيريتات الحديد النحاسية *brassy iron pyrites* ، التي تعطي حمض الكبريت وكبريتات الحديد ، عند التأكسد بوجود

الرطوبة .

إن المضخات والمصارف وشبكة الأنابيب التي تستخدم لإزالة هذه المياه الحمضية من المناجم ، يجب أن تصنع من معدن خاص مقاوم للحمض ، وإلا سيكون عمرها المفيد قصيراً جداً . ولكن مياه المناجم ليست جميعها حمضية ، لأن كثيراً منها يكون قلوياً بـ بيكربونات الكالسيوم والمغنزيوم .

وفي الواقع حتى في المنجم نفسه قد تكون المياه في بعض المستويات قلوية ، وفي بعضها الآخر حمضية . وبعض من هذه المياه المنجمية الحمضية ، يرتشح عبر طبقات الأرض ، لينبثق ، فيما بعد على شكل ينابيع ، أو ليبزل بواسطة الآبار . وفي المرور عبر طبقات تحتوي على الكربونات يتعادل الحمض أو كبريتات الحديد بواسطة الكربونات إلى مدى كبير أو بسيط ، وتتحرر كميات مطابقة من ثاني أكسيد الكربون فإذا كان مدى التعادل كافياً لمعادلة حمض الكبريت الطليق وجزء من كبريتات الحديد ، فالماء الناتج سوف يحتوي جزءاً من حديده ، على شكل بيكربونات الحديد . وفي بعض الحالات ، قد يتقدم التعادل إلى حد بعيد ، بحيث يصبح الماء الحمضي أصلاً قلوياً .

إن ما يسبب الحموضة في المياه السطحية ، هو تلوثها بمياه المناجم الحمضية ، أو بالفضلات الحمضية التجارية . وهذان المصدران ليسا بسيطين ، لأن كثيراً من آلاف الأطنان من الحمض ، يفرّغ منها سنوياً إلى المياه السطحية .

إن هذه المياه السطحية تتغير عادة في صفاتها إلى درجة كبيرة ، فتبدو حمضية حيناً ، وقلوية في حين آخر لقد حدث تحسن مهم في هذه المياه السطحية ، بعد غلق الفتحات في المناجم المهجورة ، وبمعادلة بعض الفضلات التجارية بالجير ، أو الحجر الجيري قبل تفريغها إلى المياه السطحية . عند سدّ فتحات المناجم ، ينظم السدّ بحيث يسمح للماء بالانصراف خارجاً ، ومنع الهواء من الدخول .

تمكن إزالة محتوى المياه الحمضية من الحديد بالتعادل بزيادة بسيطة من مادة الصودا أو الجير ، والتهوية ، والترشيح . ويمكن إجراء تيسير الماء :

1 . بالتعادل وإزالة الحديد ، في وقت واحد عن طريق معالجة الجير . الصودا على البارد .

2 . بالتعادل التابع ، و التهوية ، و الترسيب ، و الترشيح من خلال المعالجة بالزيوليت بتيسير الماء .

وقد تكون الطريقة الأخيرة اقتصادية أكثر ، فيما يتعلق بتكاليف التشغيل مع ذلك ، فإن بعضاً من هذه المياه الحمضية ، عالية المحتوى من الكبريتات ، والعسرة ، و الحمض إلى الحد الذي تصبح معها فوق نطاق . وسوف نناقش هذه المعالجة في الفصول التالية :

1 . إزالة الحديد المنغنيز في الفصل 14 .

2 . طرق تيسير الماء بالجير . الصودا على البارد في الفصل 18 .

3 . طريقة تيسير الماء بالزيوليت ، في الفصل 15 .

الفصل الثالث

الغازات المنحلة

Dissolved Gases

الغازات المنحلة ، التي قد توجد في مختلف الموارد المائية هي :

(1) ثاني أكسيد الكربون CO_2 (2) الأوكسجين O_2

(3) النتروجين N_2 (4) كبريت الهدروجين H_2S

(5) الميتان CH_4

ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide

يوجد ثاني أكسيد الكربون ، بكميات متفاوتة ، في معظم المياه الطبيعية . والكميات التي تكتسبها مياه المطر من الجو قليلة جداً ، وتبلغ عادة حوالي 0,5 ppm .

ملاحظة : يكون هذا بالنسبة للعينات الحديثة التحليل . ولكن مع الوقت ، قد يتحلل بعض من المادة العضوية ، فتنتج أرقام أعلى . فقد ثبت بالتجربة على عينة من الثلج المذاب حديثاً ، أنها تحتوي على 1,5 ppm من CO_2 الحر وازداد محتواها إلى 6 ppm بعد وضعها لمدة 24 ساعة في زجاجة مسدودة وعند الشحن لوحظ أن مستوى CO2 الحر قد أصبح إلى ما يزيد عن 12 ppm .

وكذلك كانت عينات معظم المياه السطحية ، المأخوذة من السطح ، تحمل محتوى خفيفا من ثاني أكسيد الكربون الحر يتراوح من 0 - 5 ppm ، وتحمل العينات السطحية المأخوذة من البحيرات ، محتوى يتراوح من 0 – 2 ppm ، أما عينات العمق فقد تكون أعلى محتوى بكثير . وسبب ذلك ، هو أن عمليات التحلل ، عند أو قرب القاع في هذه البحيرة تولد ثاني أكسيد الكربون ، أما في الطبقات العليا فتستهلكه النباتات المجهرية بواسطة التمثيل الضوئي وتطلق الأوكسجين . وفي حالات أخرى تتخلى المياه عند السطح أو قربه عن ثاني أكسيد الكربون لهواء الجو.

وفي معظم الأنهار ، وغالب الأحيان ، توجد كمية من ثاني أكسيد الكربون

تتراوح من 5 ppm – 0 ولكن ، بما أن تأكسد المادة العضوية يمدنا بثاني أكسيد الكربون ، فإن الأنهار التي تحتوي على مادة عضوية هامة ، قد تظهر أحياناً كميات أعلى بكثير منه ، كما تواجه أحياناً محتويات تقدر بـ 5O ppm ، أو فوق ذلك . والأنهار التي تستقبل المياه الحمضية للمناجم وغيرها ، قد تظهر أيضاً محتويات عالية من ثاني أكسيد الكربون .

ومع أن مياهاً جوفية ، قد تظهر أحياناً قلوية تجاه الفينول فثالين ، فإن القسم الأكبر منها ، يحتوي بشكل محسوس على ثاني أكسيد الكربون الحر . وقد يتراوح هذا من 1 ppm إلى ما يزيد على عدة مئات من الأجزاء في مليون . ورغم ذلك ، فإن محتوى ثاني أكسيد الكربون الحر ، سوف يقع عموماً دون 50 ppm في أغلب مياه الآبار العميقة . وكثيراً ما تظهر الآبار الضحلة ، التي تقع في مناطق تعلوها تربة خثّية محتويات من ثاني أكسيد الكربون الحر ، تتراوح من 300 ppm - 50 وبما أن محتوى ثاني أكسيد الكربون في ماء المطر أقل من 2 ppm فإن هذا يوضح بجلاء تأثير تحلل المادة العضوية في زيادة محتوى الماء بغاز الكربون . وبالتماس مع الحجر الكلسي أو الطباشير أوالدولوميت أوالمغنسيت ، فإن جزءاً كبيراً من محتوى الماء بثاني أكسيد الكربون الحر ، سوف يتحول إلى شكل نصفي الارتباط في حل هذه المواد كالبيكربونات .

ومن الأمور الهامة ملاحظة : كميات ثاني أكسيد الكربون ، اللازمة لتشكيل البيكربونات في المياه العالية الكربونات . وفي الجدول 10–1 ، في الفصل الأول ، تظهر مياه أحد الآبار محتوى من البيكربونات مقداره 806 ppm ، وبما أن 44 % منه هو ثاني أكسيد الكربون نصفي الارتباط ، فمعنى هذا أن 355 ppm من ثاني أكسيد الكربون ، كان لازماً لتشكيل كمية البيكربونات .

الجدول 3 – 1 . ذوبانية ثاني أكسيد الكربون : عند 760 مم و 0 – 60° مئوية

درجة الحرارة			
مئوية	فهرنهايت	مل / ل	ppm
0	32	1690	3350
5	41	1400	2770
10	50	1170	2310
15	59	996	1970
20	68	855	1690
25	77	733	1450
30	86	637	1260
40	104	491	970
50	122	384	760
60	140	293	580

إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون ، المتشكل عن طريق تحلل المادة العضوية ، فإن ثاني أكسيد الكربون قد يلتقط من طبقات أو شقوق في القشرة الأرضية . وعندما تكتسب المياه الجوفية ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط هذه المصادر ، بكميات تفور معها المياه عند سحبها إلى السطح . أدرجنا في الجدول 1 – 3 ذوبانية ثاني أكسيد الكربون النقي في الماء بدرجات للحرارة ، تتراوح من 0 – 60 مئوية (32 – 140 ف) . وتكون الذوبانية عند نقطة الغليان صفراً .

الجدول 2–3 ذوبانية ثاني أكسيد الكربون من الجو عند 760 مم و0ْ –40ْ مئوية

درجة الحرارة		ثاني أكسيد الكربون كأجزاء CO_2 / مليون (عندما يكون ثاني أكسيد الكربون في الجو) :			
مئوية	ف	%0,03	%0,04	%0,05	%0,06
0	32	1	1,3	1,7	2
5	41	0,8	1,1	1,4	1,7
10	50	0,7	0,9	1,2	1,4
15	59	0,6	0,8	1	1,2

1	0,9	0,7	0,5	68	20
0.9	0.7	0,6	0,4	77	25
0,8	0,6	0.5	0,4	86	30
0 ، 6	0 ، 5	0 ، 4	0 ، 3	104	40

يتضمن الجدول 2–3 ذوبانية ثاني أكسيد الكربون في الماء بالتعادل مع محتوى ثاني أكسيد الكربون في الجو عند درجات للحرارة تتراوح من 0 . 40 مئوية وتغطى مدى تراكيز ثاني أكسيد الكربون الجوي من 0,03، 0,06 %.

ويتضح من هذا الجدول ، أن كمية ثاني أكسيد الكربون المركزة التي تسهم في المياه السطحية والجوفية من الجو ، هي كمية مهملة عملياً ، إذا قورنت مع تلك التي تسهم عن طريق تحلل المادة العضوية . ويعطي الجدول 3–3 ، أوزان ثاني أكسيد الكربون النقي في الضغط الجوي ، وعوامل التحويل بين ملل/ل وأجزاء /مليون .

الجدول 3–3 . ثاني أكسيد الكربون المنحل : الأوزان و عوامل التحويل .

الوزن (بالغرامات عند 0° مئوية و 760 مم)

1 لتر	=	**1,977**
1 ملليتر	=	**0,001977**

تضرب أجزاء CO_2 / مليون بـ 0,56 للتحويل إلى ملل/ لتر

تضرب CO_2 ملل / لتر بـ 1,98 للتحويل إلى أجزاء / مليون

تقدير CO_2 الحرّ في عينات الماء

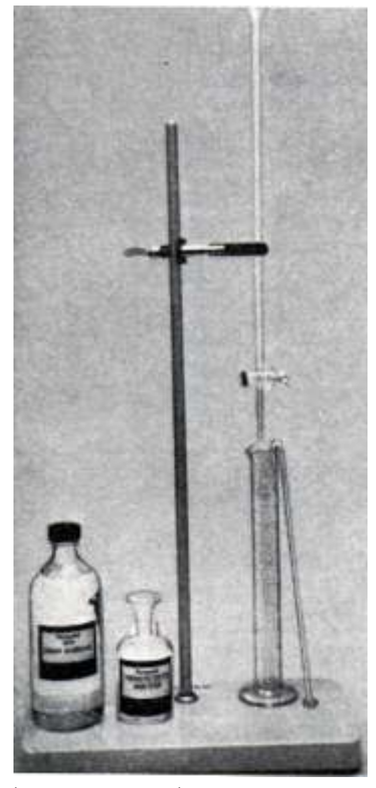
Sampling Water For Free CO_2 Determinations

هناك فقط طريقة واحدة صحيحة لإجراء تقدير ثاني أكسيد الكربون الحر ، وهي التي تقضي باستخدام الإجراءات التالية ، والمعايرة المباشرة بالتقنية الموصوفة .

تربط قطعة من أنبوب من المطاط ¼ إنشاً إلى حنفية الماء المراد تقدير نسبة CO_2 فيه . ويوضع الطرف الآخر في قاع أنبوب نيسلر 100 مم ، أو قاع اسطوانة من قياس 100 مم ، ويترك الماء يسيل بسرعة على مدى عدة دقائق

. يسحب الأنبوب ، والماء ما يزال يسيل . تُأخذ كمية معلومة من هذا الماء . وتضاف بضع نقاط من كاشف الفنيول فثالين لها وتعاير بسرعة مع محلول قياسي للصود الكاوي (44 / N عادة) ، مع التحريك اللطيف ، بشكل عمودي ، بواسطة قضيب طويل من الزجاج ، نهايته السفلى مسطحة على شكل قرص . وتعتبر هذه المعايرة ، معايرة تمهيدية . تسحب العينة الثانية بالطريقة نفسها ، ولكن عندما تعدل إلى العلامة تصب بسرعة كامل كمية محلول الصود الكاوي ، تلك التي استخدمت في المعايرة الأولى ، وعندئذٍ تضاف بضع نقاط من الفينول فثالين ، وتُنهى المعايرة كالمعتاد . وإذا كان هناك فرق محسوس بين المعايرتين الأولى و الثانية ، نقوم بإجراء معايرة ثالثة على أن نضيف في هذه المرة ، كامل كمية الصود الكاوي ، التي استخدمت في المعايرة الثانية ، وبعدئذٍ نقوم بإضافة الفينول فثالين ، وننهى المعايرة كالمعتاد .

وإذا كان محتوى الماء من الحديد عالياً ، مثل بيكربونات الحديد ، فقد يكون من الأفضل إضافة المزيد من الصودا الكاوية ، والرجّ مع قليل من الهواء والإكمال إلى حجم معروف ، والترشيح ، وإعادة المعايرة مع محلول قياسي من الحمض ، واستخدام كاشف الفنينول فثالين ، حتى اختفاء لونه . يتم التصحيح لإكمال الحجم ، ومن أجل التقسيم بدون باقٍ . وبما أن الحديد الموجود في بيكربونات الحديد يترسب على شكل هيدروكسيد الحديد ، فإن كامل ثاني أكسيد الكربون في بيكربونات الحديد ، سوف يظهر في رقم CO_2 الحرّ .



الصورة (3 . 1) تقدير ثاني أكسيد الكربون وأجهزة المعايرة

عند معايرة المياه ، التي تحتوي على حموضة معدنية ، تؤخذ العينة ، وتعاير بالطريقة نفسها ، مع استخدام كاشف برتقالي المثيل أولاً ، وتجرى المعايرة بالصود الكاوي ، حتى نقطة تعادل برتقالي المثيل ، وتحسب النتيجة كحموضة معدنية ، ويعبر عنها كـ $Ca\ CO_3$. وعندئذٍ يضاف كاشف الفينول فثالين ، وتستمر المعايرة من أجل محتوى ثاني أكسيد الكربون . وحيثما استخدم الصود الكاوي العياري بهذه الطريقة ، فإن أي محتوى للكربونات ، في محلول الصود الكاوي سوف يعطى ثاني أكسيد الكربون في القسم الأول من المعايرة ، وينبغي إجراء التصحيح من أجله

أخطاء أخذ العينة والمعايرة :

Sampling & Titration Errors

تظهر النتائج المدرجة في الجدول 4–3 ، أن الأخطاء المرتكبة عند أخذ

العينة واختبارها ، تكون غير محسوسة عند 5 ppm لكنها تزداد خطورة ، عندما تزيد على 10 ppm . أجريت جميع الاختبارات على مياه باردة ، وتراوحت درجة الحرارة من 47 .63 ف . ولقد أخذت عينات المجموعة (آ) ، وتمت معايرتها كما ذكر آنفاً . أما المجموعة (ب) ، فقد أجريت عن طريق التجميع في قارورة العينة ، وبالطريقة المعتادة ، ثم تم قياس العينة باسطوانة مدرجة ، أدخلت إلى قارورة ايرلنماير ، وفيها أجريت المعايرة 0

الجدول 4–3 . ثاني أكسيد الكربون : أخطاء أخذ العينة والمعايرة :

العينة	درجة الحرارة (فْ)	المجموعة آ (صحيحة) ppm CO3	المجموعة ب (غير صحيحة) ppm CO3	الأخطـاء ppm CO3
1	56	5	5	لا توجد
2	47	9	8	1−
3	56	16	12	4−
4	50	47	37	10−
5	63	132	83	49−

التبدلات في محتوى CO_2 عند النقل والتخزين :

Changes in Co_2 contents On shipping and storage

تظهر الاختبارات الأربعة ، في الجدول 5–3 ، ضياعات في ثاني أكسيد الكربون عند نقل العينات والتي تحتوي على 35-132 ppm من CO_2

الجدول 5–3 0 ثاني أكسيد الكربون : الضياعات من عينات الماء أثناء النقل .

العينة	المجموعــة آ (صحيحة في الحقل) ppm CO_3	المجموعــة ب (بعد النقل بالسفن) ppm CO_3	الأخـطاء ppm CO_3
1	35	20	15−

2	47	22	−25
3	58	30	−28
4	132	74	−58

وقد أجريت مجموعة من الاختبارات على عدد كبير من العينات ، التي أبقيت في قوارير محكمة الإغلاق في المختبر لمدة أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع ، فأظهرت :

(1) أن محتوى CO_2 يزداد في معظم العينات .

(2) أن عددا قليلا نسبيا من العينات ، لم يظهر تبدلا ملموساً .

(3) أن بعض العينات أظهرت ضياعات في محتوى CO_2 .

ومن بين ما يقرب من مائة عينة ، اختيرت العينات الواردة في الجدول 6-3 كعينات نموذجية لهذه الشروط الثلاثة : ففي هذه المجموعة تظهر العينات 1 ، 2 ، 3 زيادة واضحة في محتويات CO_2 ، والعينات 4 ، 5 ، 6 لا تظهر تبدلا محسوسا ، وتظهر العينات 7 ، 8 ، 9 ضياعات واضحة في محتويات CO_2 يضاف إلى ذلك ، أن بعض العينات تحمل عند الاستلام قلوية تجاه الفينول فتالين ، لكنها تفقده ، وتظهر عند التخزين ، محتوى من CO_2 الحر ، وبعضها يحمل عند استلامه ، محتوى يمكن قياسه من CO_2 ، لكنه يفقده أيضاً ، وتظهر بالتخزين ، قلوية تجاه الفنيول فتالين .

الجدول 6-3 . ثاني أكسيد الكربون : الكسب أو الخسارة أثناء تخزين عينات الماء0 ومعبراً عنها كأجزاء من CO_2 / مليون .

العينة		عند الاستلام	بعد التخزين	كسب أو خسارة
أ	1	7	16	+9
	2	1	10	+9
	3	13	35	+22

1+	25	24	4	
1−	5	6	5	ب
1+	12	11	6	
35−	28	63	7	ج
9−	0	9	8	
10−	32	42	9	

لاشك في أن الزيادات في محتوى CO_2 ، قد استمدت من العضوية ، سواء كانت موجودة في الماء ، أومن السدادة الفلينية . أما فيما يتعلق بضياعات محتويات CO_2 ، فقد تعزى إلى الحيز الهوائي في القارورة ، أو إلى التمثيل الضوئي ، أو ربما إلى التفاعل مع المادة القلوية في الزجاج . وأياً كان السبب ، فإنه يفضل أن يقاس محتوى CO_2 مباشرة في الموقع ، وذلك باستخدام طريقة المعايرة ، بالطريقة التي أتينا على ذكرها سابقاً .

قلوية الفينول فثالين في المياه الطبيعية :

Phenolphthalein Alkalinity in Natural Waters

في حين أن معظم المياه الطبيعية تحمل عادة ، عند اختبارها حديثا محتوى ما من ثاني أكسيد الكربون الحر فإن بعضها سوف يظهر أحيانا و بشكل محسوس ، قلوية تجاه الفينول فثالين . و يعزى هذا إلى التمثيل الضوئي ، أي أن النباتات ، سواء كانت كبيرة أم صغيرة ، تأخذ تحت تأثير أشعة الشمس ، ثاني أكسيد الكربون ، و تطلق الأكسجين . ولا يتوقف هذا العمل بالضرورة مع استنزاف ثاني أكسيد الكربون الحر ، لكنه قد يستمر على جزء من محتوى البيكربونات من ثاني أكسيد الكربون نصفي الارتباط ، فتتشكل بالتالي الكربونات العادية ، وتضفي قلوية الفينول فثالين على الماء . ومن عدد من الاختبارات التي أجريت على شاطئ الخليج والأطلنطي في فلوريدا ، كانت القلويات الكلية لمياه البحر حوالي 120 ppm ، بينما كانت قلوية الكربون 4-24 ppm وتراوحت قيم الـ PH من 8.5- 9.8 ppm من مجموعة من التحاليل ، التي أجريت على مياه 22 نهرا

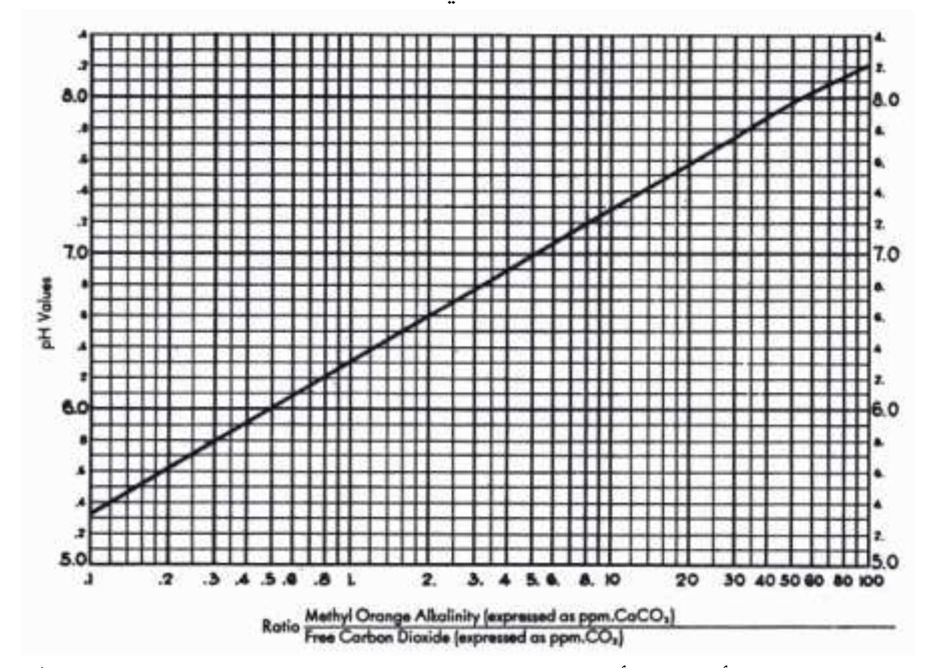
وثلاث بحيرات ، وجد أحيانا أن قلوية الكربونات ، تتراوح من 51ppm -1 وفي حالات قليلة ، يوجد من التأثير ما يكفي لترسيب بعض من كربونات الكالسيوم.

تأثير CO_2 على قيم الـ Effect Of CO_2 PH values , PH

عندما ينحل ثاني أكسيد الكربون في الماء ، يشكل إلى حد ما ، حمضا منعزلاً على نحو ضعيف ، هو حمض الكربون . (يستمر التشرد للهدروجين الأول ، بدرجة 18 مئوية ، ويكون ثابت التشرد 3×10^{-7} ، وللهدروجين الثاني بدرجة 25 مئوية ، يكون ثابت التشرد 6×10^{-11}) فإذا خلا الماء من أي أثر قلوي ، وأشبع بثاني أكسيد الكربون (حوالي 1450 ppm ، بدرجة 77ف) فإن قيمة الـ PH ستكون 3,8 . لا توجد قيمة منخفضة للـ PH في المياه الطبيعية لأنه فيما عدا المياه التي تحتوي على حموضة معدنية حرة ، أو المياه الطبيعية تماما ، يوجد دائما بعض من قلوية البيكربونات . ناتج التكثيف أقرب إلى حالة كهذه ، و لكن حتى مع الناتج ، توجد عادة كمية بسيطة من القلوية ، و تكثيف ثاني أكسيد الكربون في ناتج التكثيف سوف لن يصل أبدا طبعا إلى رقم مثل 1450 ppm . إن الماء المقطر النقي ، في التوازن مع محتوى الجو من ثاني أكسيد الكربون ، سيحمل الـ PH بقيمة 7.5 تقريبا (إن أدنى أثر للقلوية سيرفع هذا الرقم ، بحيث تحمل معظم المياه المقطرة في أوعية زجاجية قيمة للـ PH تقارب 4.6) .

وإذا وجدت قلوية البيكربونات أيضا ، حينئذ لا تعتمد قيمة الـ PH على محتوى ثاني أكسيد الكربون الحر ، لكنها تعتمد ، بدلاً منه ، على نسبته إلى قلوية برتقالية المثيل في الماء ، كما تظهر الصورة 2−3 . فمثلا ، مع وجود 20 ppm من ثاني أكسيد الكربون الحر ، في ماء قلويته 100 ppm ينبغي أن تكون قيمة الـ PH = 7 كما يجب أن تكون نفسها للماء الذي يحمل 40 ppm من CO_2 و 200من قلوية برتقالية المثيل ، و في الماء الذي يحمل محتوى مقداره 2 من CO_2 الحر ، و10 من قلوية برتقالي المثيل . ولذلك يمكن حساب قيمة الـ PH في أي ماء يحمل قلوية البيكربونات ، و CO_2 الحر ، من النسب النسبية لـ CO_2 الحر ،

ومن قلوية البيكربونات . وكذلك إذا كانت قيمة الـ PH الماء ، وقلوية بيكربوناته معروفتين ، فإنه يمكن حساب محتوى ثاني أكسيد الكربون الحر .



الصورة 2-3 . تأثير ثاني أكسيد الكربون الحر على الـ PH الماء ، الذي يحمل قلوية البيكربونات .

إن ثاني أكسيد الكربون ، أكال بحد ذاته ، كما يظهر في هجوم ناتج تكثيف الأكسجين الحر على شبكة الأنابيب المرجعة . قد يكون الهجوم شديدا جدا ، بسبب انخفاض قيمة الـ PH ناتج التكثيف ، الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون . إن الموارد الطبيعية للماء (التي تحتوي على ثاني أكسيد الكربون الحر ، لكن من غير الأكسجين المنحل) ، وخصوصا عند عبورها أنبوبا متدرنا ، فإنها تحل الحديد على شكل بيكربونات حديد . في حالات كهذه ، تتفاعل أكاسيد الحديد المائية مع حديد الأنبوب ، فترجع أولا إلى حالة حديدي ، ثم تتحد مع ثاني أكسيد الكربون الحر ، لتشكل بيكربونات الحديد . ويعرف هذا (بالتقاط الحديد) ، ويمكن أن يتوقف بالتهوية ، أو بالتهوية الجزئية للماء .

و ثاني أكسيد الكربون أيضا عامل تسريع في حتّ الأكسجين . ولذلك فإن

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

الماء الذي يحتوي إضافة إلى الأكسجين المنحل ، محتوى من ثاني أكسيد الكربون ، سيكون أكالا أكثر من الماء الذي يكون محتواه ضئيلا منه ، و وبمعنى آ خر إن الماء الذي يحمل محتواه من الأكسجين المنحل ، يكون أكالا ، إذا كانت قيمة الـ PH فيه منخفضة ، أكثر مما لو كانت مرتفعة . وإذا كانت قلوية الكالسيوم في الماء ، وقيمة الـ PH فيه أيضا إلى حد يشبع معه بكربونات الكالسيوم فإن التآكل سوف ينخفض جدا نظرا لتشكل طبقة رقيقة من $CaCO_3$ ، تقوم إلى حد كبير بحماية المعدن .

وسوف ندرس هذه الناحية مع معالجة سيلكات الصوديوم و الصودا الكاوية في الماء لمنع التآكل بتفصيل أكبر تحت عنوان (الأكسجين والنتروجين) في هذا الفصل .

إزالة ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Removal

يمكن إنقاص ثاني أكسيد الكربون إلى حدود معينة ، أو إزالته :

1– على البارد بواسطة جهاز تهوية أو بنازع الغاز أو بنازع هواء يعمل بالتفريغ .

2– على الساخن بواسطة نازع هواء . و سوف نأتي على وصف هاتين الطريقتين في الفصلين 10 –11 .

ومن الواضح أيضا أنه يمكن معادلة ثاني أكسيد الكربون ، عن طريق إضافة جير أو قلوي مثل صودا كاوية ، لكن هذين الإجراءين ، يستخدمان عادة فقط للمياه الخام أو المعالجة ، التي تحتوي على كميات قليلة نسبيا من ثاني أكسيد الكربون . وفيما يلي تفاعلات تشكيل الكربونات و البيكربونات :

$$2CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$CO_2 + NaOH \rightarrow NaHCO_3$$

$$CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

يمكن إزالة ثاني أكسيد الكربون جزئيا من الماء ، عن طريق الترشيح من خلال مرشحة تعادل ، تستخدم سريرا من حبيبات الكالسيت Calcite . ينحل بعض الكالسيت في الماء ، مشكلا بيكربونات الكلسيوم ، و سنجد أثناء العمل ، أن هذه ترفع آلياً الـ PH إلى 7.2 أو 7,3 . وتستخدم هذه المرشحات ، على نطاق واسع في الميدان المنزلي لمعالجة الماء ، وفي ترشيح مياه المسابح المتخثرة ، وإلى حد ما في الصناعة . و يتم التفاعل كما يلي :

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

التهوية Aeration

أدرجنا في الجدول 2–3 ، ذوبانية ثاني أكسيد الكربون في الجو ، في الماء النقي ، بدرجات حرارة تتراوح من 32 –104 ف . و تظهر هذه أنه ، في التوازن مع ثاني أكسيد الكربون في الجو ، يمكن للماء النقي أن يحتوي على كميات قليلة فقط من ثاني أكسيد الكربون (من 0,3-1 ppm) تقريبا في الريف وربما على ضعف هذه الكميات في المدن) 0وبدلا من الماء النقي ، إذا تمت تهوية الماء ، الذي يحتوي على كميات محسوسة من قلوية البيكربونات ، إلى أن نحصل على التعادل ، فسوف نجد أن بعضا من ثاني أكسيد الكربون ، النصفي الارتباط ، سوف يتحرر إلى الجو، محولاً بذلك البيكربونات إلى كربونات . وتوضح الاختبارات ، التي أجريت بدرجة حرارة 25 مئوية ، أو 77 ف هذه النتائج. وفي كل حالة ، كان تيار قوي من الهواء النقي مستمدا من الخارج ، يتحرر عبر عينة الماء ، حتى يحصل التعادل . ويستغرق هذا باستخدام العينات الصغيرة ، ما يزيد قليلا عن 5 دقائق0 وقد أجرى كل اختبار مضاعفا ، تمت التهوية في الأول لمدة 10دقائق ، وفي الثاني لمدة 20 دقيقة وفي حالة : (1) الماء المقطر ، (2) المياه السطحية ، التي تحتوي فقط على 4 ppm من قلوية البيكربونات ، و(3) الماء المقطر ، الذيُ حِّمض إلى مدى 20 ppm بحمض الكبريت ، تظهر جميع العينات المهوّاة محتوى ضئيلا من ثاني أكسيد الكربون . وقد بلغ هذا المحتوى أقل

من 1 ppm. معبرا عنه كـ CO_2 ، في كل الحالات ، وكان أقل من ذلك في حالة ماء قلوية البيكربونات في 4 ppm وأجريت الاختبارات التالية بـ (4) محاليل بيكربونات الصوديوم ، و(5)محاليل بيكربونات الكالسيوم ، و(6) ماء يحتوي على بيكربونات الكالسيوم ، وبيكربونات المغنيزيوم . وقد وجدت زيادات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون الحر 200 ppm . لكنها طبعا ، وصلت جميعها إلى التعادل نفسه ، بغض النظر عن مدى الزيادة التي كانت موجودة عند البدء 0

عندما كانت القلوية تجاه برتقالي المثيل 25 ppm ، ظهرت القلوية تجاه الفينول فتالين ضعيفة ، لكنها مميزة (1 ppm) وعند (50 ppm) من القلوية تجاه برتقالي المثيل ، كانت القلوية تجاه الفينول فتالين مميزة جدا 3 ppm وعند 100 ppm وما فوق من القلوية تجاه برتقالي المثيل كانت القلوية تجاه الفينول فثالين التي ظهرت 7% من القلوية تجاه برتقالي الميثيل . وبمعنى آخر ، تحول إلى كربونات 14% من إجمالي محتوى البيكربونات . و يحدث هذا مستقلاً عما إذا عزيت قلوية البيكربونات الأصلية إلى بيكربونات الصوديوم أو الكلسيوم أو المغنزيوم . ولكن عندما كانت قلوية الكلسيوم موجودة ، حدث ترسب كربونات الكلسيوم ، وذلك عند تجاوز قلوية الكلسيوم لحوالي 200 ppm ولذلك قام الجدول 3.7 على أساس محاليل بيكربونات الصوديوم وفيما يلي نورد التفاعلات المشتركة :

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

وفي الممارسة ، إن إزالة ثاني أكسيد الكربون الحر بالتهوية ، سواء تمّت بجهاز مفتوح للتهوية أو بأجهزة تهوية قسرية أو بأجهزة صهريجية للتهوية ، فإنها عادة لا تكتمل بما يكفي لترسيخ التعادل كما لا حظنا آنفاً . وبدلاً من ذلك ، تتحصل عادة بقايا من ثاني أكسيد الكربون الحر ، التي تتفاوت في مختلف الحالات من حوالي 3-15ppm إلى الحد الذي قلما تظهر معه القلوية تجاه

الفنيول فثالين . ومع ذلك ، تلاحظ ظاهرة واحدة ، وتعزى ظاهرياً إلى ميل البيكربونات إلى التفرق بسرعة ، مع بعض ثاني أكسيد كربونها النصفيّ الارتباط ، أي ، إذا تمت تهوية ماء حمضيّ ، في ظل الشروط نفسها تماماً ، مثل ماء قلوي على نحو محسوس ، فسوف يحتوي على بقايا من ثاني أكسيد الكربون أكبر مما يحتويها الماء القلوي . وسوف نأتي في الفصل العاشر على وصف عدة أنماط من أجهزة التهوية .

الجدول 3.7 . تهوية محاليل بيكربونات الصوديوم بدرجة 25مئوية (77 ْف) حتى في التعادل مع محتوى الجو من ثاني أكسيد الكربون .

قلوية برتقالي المثيل كـ $CaCO_3$ mg/l -	الفينول فثالين	البيكربونات	الكربونات
25	1	23	2
50	3	44	6
100	7	86	14
200	14	172	28
400	28	344	56
800	56	688	112

نزع الهواء De aeration :

تتم إزالة ثاني أكسيد الكربون الحر إضافة إلى الهواء المنحل ، عن طريق غلي الماء ، وتنفيس الغازات الغير قابلة للتكثيف .

وفي النموذج العادي لجهاز نزع الهواء ، الذي يستخدم لنزع الهواء من مياه تغذية المرجل البخاري ، يحدث الغليان عند مستوى الضغط الجوي ، أو فوقه بقليل. وفي جهاز نزع الهواء بالتفريغ ، يحدث نزع الهواء ، عن طريق غلي الماء البارد بضغط مختزل .

في الجهاز العادي لنزع الهواء ، وبسبب من تأثير الضغط الجزئي المنخفض لثاني أكسيد الكربون في البخار ، وتأثير درجة الحرارة ، يُزيل ليس فقط ثاني أكسيد الكربون الحر بل أيضاً بعض من ثاني أكسيد الكربون النصفيّ الارتباط ، مما يؤدي إلى تشكل قلوية الكربونات . وفي المرجل البخاري ، يمضي

تحلل البيكربونات هذا إلى حد أبعد ، حيث تتفكك البيكربونات ، بصورة تامة ، إلى كربونات ، تتفكك بدورها ، في حالة الصوديوم والمغنزيوم إلى حد أبعد ، إلى هيدروكسيدات .

وفي ظل هذه الشروط ، تعطي بيكربونات الكلسيوم ، كربونات الكلسيوم غير الذوابة من الناحية العملية ، كناتج نهائي ، وتعطي بيكربونات المغنزيوم ، هيدروكسيد المغنزيوم والأقل ذوباناً ، أما بيكربونات الصوديوم فتتحول على نطاق واسع ، إلى هيدروكسيد الصوديوم الشديد الذوبانية ، ويتراوح هذا التحول عادة إلى أكثر من 80%من قلوية الصوديوم . وفي هذه التحللات ينحل ثاني أكسيد الكربون ، الذي ينطلق مع البخار في ناتج التكثيف ، بالتالي قيمة الـ PH فيه ، ويزيد ميوله الأكّالة . ومن الواضح ، أنه كلما كانت قلوية البيكربونات أو قلوية الكربونات قليلة أكثر في مياه تغذية المراجل ، كلما كانت كمية ثاني أكسيد الكربون الحر ، أكثر انخفاضاً في البخار ، كلما كانت أكثر انخفاضاً للميول الأكّالة في ناتج التكثيف .

في نمط جهاز نزع الهواء بالتفريغ ، تكون الدرجة اللازمة لنزع الهواء ، أقل عادة ، مما هي عليه في الأجهزة الأخرى ، وبما أن هذه الأجهزة تعمل بدرجات حرارة منخفضة ، فإن تحلل البيكربونات يكون أقل و اعتمادا على ظروف التشغيل، ومحتوى قلوية البيكربونات ، فقد تظهر قلوية الكربونات ، أو أنها لا تظهر .

ملاحظة: *الأحماض العضوية Organic Acids* :

يمكن لماء عرضي أن يحتوي على ما يكفي من الأحماض العضوية ، بحيث يكون المحتوى الظاهر لـ CO_2 الحر عند التهوية ، أعلى بالقياس مما يجب أن يكون عليه . فإذا لم يحتو الماء على أحماض معدنية ، بل يحتوي على قلوية واضحة تجاه برتقالي المثيل ، فإنه يمكن ، في حالات كهذه ، تأكيد وجود أو غياب الأحماض العضوية الطليقة ، عن طريق جعل العينة تتوازن مع محتوى الجو من ثاني أكسيد الكربون ، ثم معايرتها مع محلول الصودا الكاوية القياسي ، باستخدام الفينول فثالين ككاشف . فإذا أظهرت هذه حموضة تجاه فينول فثالين ، تزيد على ppm 2-1 معبراً عنها كـ CO_2 تكون الأحماض العضوية الحرة موجودة ، وينبغي عندها تصحيح رقم ثاني أكسيد الكربون الحر ، المتحصل قبل التهوية .

وفي اختبارات أجريت بترك أوراق أشجار وحشائش وأعشاب ميتة تستقر مع الماء في قوارير تطورت محتويات CO_2 الطليق من 30-200 ppm ولوحظت محتويات للأحماض العضوية الحرة من 0-90 ppm وفي أحد هذه الاختبارات كانت النتائج بعد ترك العينة 72ساعة بدرجة حرارة 75−85 ف كما يلي :

ثاني أكسيد الكربون الحر الظاهر(كـ CO_2) 295 ppm

ثاني أكسيد الكربون الحر الفعلي (كـ CO_2) 203 ppm

أحماض عضوية حرة (كـ CO_2) 92 ppm

قلوية برتقالي المثيل (كـ $CaCO_3$) 114 ppm

وبعدئذ تم ترشيح هذا الماء ، وتهويته ، وترك مستقراً لمدة 48ساعة . فتشكل نماء هلامي من المتعضيات المجهرية ، وهبط محتوى الأحماض العضوية الحرة (معبراً عنها كمكافئ CO_2) من 36-92 ppm ، وبعد 24 ساعة ، هبط إلى 14 ppm وفي الـ 24ساعة التالية ، هبط إلى 4 ppm وهي نقطة تم عندها توقيف الاختبار .

طريقة الوصول إلى التوازن بين العينة وبين ثاني أكسيد الكربون من الجو :

Method Of Obtaining Equilibrium between sample and Of Atmosphere

نستخدم عينة 100مل في دورق صغير ، ونحكم سدّه بسدادة مطاطية ذات ثقبين ، في أحدهما أنبوب زجاجي ، مسحوب إلى منفث ، ويمتد تقريباً إلى قاع الدورق ، وفي الثقب الأخر أنبوب زجاجي قائم الزاوية ، تتساطح إحدى نهايته مع أسفل السدادة . فإذا كان الهواء المضغوط من الخارج متيسراً نقوم بتوصيله إلى النفاث ونتركه يعبر خلال العينة لمدة 10دقائق ، ثم نجري المعايرة بمحلول الصودا الكاوية القياسي ، واستخدام الفينول فثالين ككاشف . ثانياً نجعل عينة ثانية يعبر فيها الهواء 20دقيقة ثم نقوم بعملية المعايرة . فإذا تم التوصل إلى توازن ، فإن النتيجتين ستكونان متشابهتين ويفيد هذا الإجراء كفحص تحقق (إن مدة 10 دقائق هي عادة وقت أكثر من كافٍ للوصول إلى التوازن) . وإذا لم يكن الهواء المضغوط متوفراً ، فإننا نقوم بربط الأنبوب الزجاجي الآخر إلى أنبوبة مصاصة وبواسطة أنبوب مطاطي ، نسحب الهواء من خارج المبنى من خلال نفاث .

الأكسجين والنتروجين *Oxygen and nitrogen :*

إن ذوبانية الأكسجين والنتروجين النقيين ، عند درجة 32 ف ، والضغط الجوي ، هي 48.98 مل / ل بالنسبة للأكسجين ، و 54 .23 مل / ل بالنسبة للنتروجين ، ومن هنا نرى أن ذوبانية الأكسجين أكثر بقليل من ضعف ذوبانية النتروجين ، وبناء عليه ، فإن الهواء عندما ينحل في الماء فإن المقومين الرئيسيين ، يتواجدان بنسب مختلفة ، على شكل محلول وعلى خلاف ما يكونان عليه في الجو .

يشكل الأكسجين 21% من حجم الهواء ، على أساس خلّوه من الرطوبة بينما يظهر في الجدول 8 . 3 أن نسبة الأكسجين في الهواء المنحل ، تتراوح من حوالي 33 . 35 % وسنلاحظ أيضاً أن الحجم الكلي للهواء المنحل يتناقص بسرعة مع ارتفاع درجات الحرارة ، بحيث تكون ذوبانية الهواء عند درجة 140 ف ، فقط حوالي 1/3 ذوبانيته عند درجة حرارة 32 ف ، وعند 176˚ ف فقط حالي 1/5 تلك الذوبانية ، في حين تكون ذوبانيته صفراً عند درجة حرارة 212 ف ، وهذا يوحي بإحدى الطرق المستخدمة ، على نحو أكثر شيوعاً ، لنزع الهواء من الماء ، وهي غلي الماء . وتنفيس الغازات المنحلة .

وحسب قانون هنري ، فإن ذوبانية الغاز ، تتناسب مع الضغط المطلق وهكذا إذا زاد الضغط ، فإن كمية الهواء ، التي يمكن أن تبقى على شكل محلول ، عند درجة حرارة مفترضة ، تزداد بصورة متناسبة . ولذلك ، قد يحتوي الماء من صهريج يعمل بالهواء المضغوط ، أو من جهاز تهوية يعمل بالضغط ، على هواء أكثر بكثير من الماء المشبع بالهواء عند الضغط الجوي .

الجدول (8 . 3) ، ذوبانية الهواء ، ومحتويات الأكسجين والنتروجين في الهواء المنحل عند الضغط الجوي ، وعند درجة 0 . 100 مئوية .

درجة الحرارة		ملمترات في اللتر (مل / ل)
مئوية	فْ	هواء = أكسجين + نتروجين
0	32	18.45 + 10.19= 28.64
5	41	16.30 + 8.91 = 25.21
10	50	14.50 + 7.87 = 22.37
15	59	13.07 + 7.04 = 20.11
20	68	11.91 + 6.35 = 18.26
25	77	10.96 + 5.75 = 16.71
30	86	10.15 + 5.24= 15.39
40	104	8.67 + 4.48 = 13.15
50	122	7.55 + 3.85 = 11.40
60	140	

80 100	176 212	6.50 + 3.28 = 9.78 4.03 + 1.97 = 6 0 + 0 = 0

النتروجين Nitrogen

في تحليل الماء ، لا يقاس النتروجين عملياً أبداً لأنه خامل وغير مهم نسبياً ، ومشقة قياسه . فيما يتعلق بمعالجة المياه ، هناك جراثيم معينة كالتي توجد فوق جذور النفل والبازيلا والوفل تحمل مقدرة استخلاص النتروجين من الهواء ، وتحويله إلى مركبات . كما أن الشحنات الكهربائية عبر الجو تسبب أيضاً اتحاد النتروجين مع الأكسجين بحيث قد يحتوي ماء المطر على النترات ، التي هي ذات أهمية غذائية بالنسبة للنباتات ، ومن ناحية أخرى فإن النتروجين مادة خاملة في الواقع لا تحمل تأثيرات أكّالة على المعادن ، ولذلك فإن وجودها في مورد مائي ، أو عدم وجودها فيه ، باستثناء ربطها للهواء ، هو مسألة لحظة وجيزة . ومن الواضح أن النتروجين موجود في المياه السطحية ، وفي المياه المهواة . وقد وجد أيضاً في مياه الينابيع ، ومياه الآبار ، وربما يكون منتشراً جداً ، ولكن المعلومات التحليلية عن وجوده في المياه الجوفية قليلة جداً .

الجدول 9 . 3 . الهواء ، والأكسجين ، والنتروجين ، الأوزان بدرجة (0) مئوية :

الهواء : **1 لتر = 2929. 1غ** **1 ميلي لتر = 001293. 0 غ**
الأكسجين : **1 لتر = 4290. 1 غ** **1 ميلي لتر = 001429. 0 غ**
النتروجين :

1 لتر	**= 1 .2506 غ**
1 ميلي لتر	**= 0 .001251 غ**

الجدول 10 . 3 معاملات التحويل من أجل الأكسجين والنتروجين المنحلين :

تضرب أجزاء O_2 / مليون بـ 0,698 للتحويل إلى ملل **يضرب مل /ل من O_2 بـ 1,43 للتحويل إلى أجزاء / مليون**
تضرب أجزاء N_2 /مليون بـ 0,800 للتحويل إلى ملل / ل **يضرب ملل / ل من N_2 بـ 1,25 للتحويل إلى أجزاء / مليون**

الأكسجين Oxygen :

الأكسجين بالمقابل عنصر فعال جداً ، يتحد بسهولة مع مجموعة من المواد الأخرى . محلول الاكسجين في الماء ، أكال جداً للمعادن ، كالحديد ، والفولاذ، والحديد المغلفن ، والنحاس الأصفر ، والتي تستخدم ، على نطاق واسع ، لصنع الآنية ، من أجل الاحتفاظ بالماء ، وتوصيله ، إن انخفاض قيم الـ PH ، تعجّل في سرعة هذا الحتّ الكيميائي للأكسجين المنحلّ ، وارتفاع تلك القيم ، يميل إلى تعويقه. إن المياه ، التي تحتوي على كمية كافية من الكلسيوم الذي يعزز قيمة الـ PH إلى نقطة الإشباع بكربونات الكلسيوم ، تكون عادة فعالة في إنقاص سرعة التآكل .

وارتفاع درجات الحرارة ، تسرّع إلى حد كبير معدل التآكل . فإذا بقي الأكسجين المنحل بكامله على شكل محلول ، وإذا لم تتشكل الطبقات الرقيقة الواقعية، وإذا افترضنا بأن هذا التفاعل ، يتبع القاعدة العامة لمضاعفة السرعة تقريباً ، من أجل كل ارتفاع في درجة الحرارة ، مقداره ˚18 ف ، فإن التآكل بدرجة 194 ف أسرع بمقدار 500مرة ، مما يكون عليه بدرجة 32 ف . ولكن واحداً من العوامل ، الذي يعمل في اتجاه معاكس هو انخفاض ذوبانية الأكسجين مع ارتفاع درجة الحرارة كما يظهر في الجدول 8 .3 .

وفي الممارسة العملية ، يبدو أن أعظم سرعة للتآكل في أجهزة تسخين الماء تحدث عند 160˚ . 180˚ف .

ولكي يحدث التآكل ، لابد من وجود الماء سائلاً ، لأن البخار الجاف الذي يحتوي على الأوكسجين ، ليس أكّالاً ، لكن ناتج التكثيف ، المتشكل من هذا البخار ، آكّال جداً . وفي خطوط إعادة ناتج التكثيف أيضاً ، سوف نجد أن الهجوم الأكبر ، يكون حيث يحاصر الماء السائل (انظر الصورة 3. 3) . إن تبطين الأنابيب بالزفت، على نحو مناسب ، سيتيح تصريفاً سريعاً للماء ، وسوف يكبح إلى حد كبير ، معدلات التآكل .

الصورة 3. 3 . مقطع متآكل من أنبوب إعادة ناتج التكثيف ، يظهر أن أكبر نسبة من التآكل حدثت حيث كان يوجد الماء السائل :



ملاحظة : هناك شكل من التآكّل ، قد يحدث في أنابيب المراجل البخارية المقيدة أو في أنابيب المسخّنات الفوقية ، يعزى إلى تفاعل المعدن المفرط التسخين مع البخار ، فيتشكل رابع أكسيد الحديد المغناطيسي والهدروجين ، حسب التفاعل التالي :

$$3\,Fe + 4\,H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

من الواضح أن هذا الشكل من التآكل ، لا يعزى إلى الأكسجين المنحل ، ولكن البخار الجاف ليس أكّالاً إلا للمعادن مفرطة التسخين .

كثيراً ما يكون الحت الكيميائي للأكسجين المنحل بالغ الشدة ، بسبب الهواء المتسرب إلى الجهاز في فترات ، عند انصراف الغاز . قد تكون قيمة الـ PH في ناتج التكثيف ، منخفضة جداً أيضاً لأنه وبسبب غياب محتوى القلوية ، أو

انخفاضها الشديد فيه ، حتى الكميات البسيطة تقريباً من ثاني أكسيد الكربون ، سوف تكبت ، إلى حد كبير قيمة الـ PH . وبما أن ثاني أكسيد الكربون بالذات ، سوف يهاجم المعدن ، عند انخفاض قيمة الـ PH ، وسوف يسرّع بدرجة كبيرة ، معدل الحت الكيميائي للأكسيجين المنحل ، عند وجود الأكسجين ، فمن المهم المحافظة على انخفاض محتوى ثاني أكسيد الكربون في البخار .

بما أن ذوبانية الهواء تزداد مع الضغط المطبق فإن محتوى الأكسجين المنحل في الماء في صهاريج الهواء المضغوط ، تكون أعلى بكثير مما هي عليه في الماء المشبع بالهواء عند مستوى الضغط الجوي . وبناء على ذلك قد تكون معدلات الحت الكيميائي للأكسجين المنحل سريعة جداً .

يهاجم الأكسجين المنحل شبكة الأنابيب المصنوعة من الحديد والفولاذ بتشكيل درنات ، تحت كل منها نقرة . فإذا ما سحجت درنة بسرعة من قطعة أنبوب منقولة حديثاً ، فإنه يمكن رؤية وميض من هيدروكسيد الحديد الأخضر . يتألف الهيكل الرئيسي للدرنة من مادة سوداء ، تمثل إما Fe_3O_4 أو مزيجاً مؤلفاً من ثاني و ثالث هيدروكسيد الحديد أما الجزء الخارجي من الدرنة فيظهر لوناً بنياً مصفرّاً ، أو محمراً لأكسيد الحديد المائي .

ملاحظة :

ثاني هيدروكسيد الحديد النقي أبيض اللون ، لكنه يبدو أخضراً في ظل ظروف الملاحظة العادية .

إن الأنبوب المتدرن ، الذي كان ينقل ماء يحتوي على أكسجين منحل إذا استخدم ، بعد ذلك لنقل ماء خالٍ من الأكسجين ، ويحتوي على ثاني أكسيد الكربون الحر ، فكثير ما يحدث (التقاط الحديد) لوجود بيكربونات الحديد الذوابة في الماء. ويعزى هذا إلى تحويل يحدث بواسطة الأنبوب الحديدي المكون من مركبات الحديد الثلاثي والمركبات الوسيطة إلى حالة الحديد الثنائي بواسطة محتوى ثاني أكسيد الكربون الحر في الماء . كثيراً ما تُواجه (إلتقاطات الحديد) هذه عند استبدال مورد بئر عميقة بمورد سطحي . ويمكن إيقافه بتهوية المورد المائي

الجديد .

وكذلك فإن أنبوب الحديد المغلفن ، والنحاس الأصفر ، يهاجم من قبل الأكسجين المنحل تماماً بنفس السرعة التي يُهاجم فيها الحديد الأسود وفي الجو ، يقاوم الحديد المغلفن كما هو معروف الشروط الجوية بشكل جيد جداً بسبب تشكل كربونات الزنك القاعدية اللصوقة . ولكن عند ما يعبر ماء يحتوي على أكسجين منحلّ من خلال أنبوب مغلفن من الداخل ، فإن كربونات الزنك القاعدية اللصوقة لا تتشكل . وبدلا من ذلك يتأكسد الزنك سريعاً وينحل .

يتآكل أنبوب النحاس الأصفر بسرعة أيضاً بسبب هجوم الأكسجين المنحل على زنك النحاس الأصفر وتكون النتيجة الصافية هي تأكل الزنك مخلفاً هيكلاً من النحاس مسامياً وضعيفاً بنيوياً . وبما أن التأثير يتمركز على نحو شديد ، فإن الثقوب والارتشاحات تحدث قبل انتزاع زنك النحاس بوقت طويل .

والنحاس الأحمر وإن كان أقل تعرضا لهذا الهجوم من النحاس الأصفر لكنه قد يهاجم من قبل مياه عدوانية .

ملاحظة : إن البقع النحاسية الخضراء . المزرقة على أحواض الغسيل والاستحمام ، شائعة جداً في المنازل المزودة بماء منخفض درجة الـ PH . وكربونات النحاس القاعدية ، ذات ذوبانية Cu ضعيفة (حوالي 3 ppm – 0) في الماء النقي ، لكن ذوبانيتها محسوسة في المياه المنخفضة الـ PH ، وقد وجد محتوى من النحاس ، يتراوح من ppm 4-8 عندما تركت هذه المياه مستقرة خلال الليل ، في أنابيب الخدمة ولابد من القول بأن هذا المحتوى قد هبط بسرعة إلى جزء بسيط فقط من 1 ppm بمجرد العودة إلى سحب الماء من الأنابيب ، وعندما تتعرض هذه المياه الحاوية على النحاس للجو ، يفلت بعض من ثاني أكسيد الكربون ويترسب بعض كربونات النحاس القاعدية الخضراء المزرقة السطحية .

يميل تحلل المادة العضوية في المياه السطحية إلى استهلاك الأكسجين المنحل ، وتشكل ثاني أكسيد الكربون . هذا الاستهلاك (المتطلب) الأوكسجيني البيوكيماوي biochemical Oxygen demand (B.O.D) ، كما تعرفه الجمعية الأمريكية للصحة العامة ، هو : **الأكسجين ، في أجزاء بالمليون ، اللازم**

أثناء تركيز المادة العضوية القابلة للتحلل ، بواسطة تأثير الجراثيم السحية .

وفيما يلي بعض المعلومات الإضافية : يحتاج التركيز الكامل إلى أكثر من 100يوما ، بدرجة 20 مئوية ، لكن فترة حضانة طويلة كهذه غير عملية في أية استقصاءات ، فيما عدا استقصاءات البحث الدقيق ، ولذلك تستخدم فترة حضانة أقصر بكثير . وقد باتت مألوفة فترات الحضانة لمدة 1 ، أو 2 ، أو 5 ، أو 10 ، أو 20 يوما ، بدرجة 20 مئوية ، وينصح بفترة حضانة مدتها خمسة أيام (BOD5) ، كإجراء قياسي . ويمكن حينئذ تحويل المعلومات من فترة حضانة ما إلى أخرى ، أو من درجة حرارة ما إلى أخرى .

مع أن هذا التحلل للمادة العضوية ، يستهلك الأكسجين المنحل ، فإن معيشة النبتة من الماء (الأشنيات algae ، والنباتات المائية ، وبعض الدياتومات ، إلخ) بواسطة التمثيل الضوئي ، تأخذ ثاني أكسيد الكربون ، وتطرح الأكسجين .

ففي الجدول (12– 2) ، في الفصل الثاني ، نلاحظ أن في قاع خزان واناكير wanaque reseroir (77 قدما) قد استهلك التحلل كامل الأكسجين المنحل ، وأدخل ppm 2 12 من ثاني أكسيد الكربون إلى الماء و كان ثاني أكسيد الكربون (عند 44 قدما) هو 8,5 ppm ، وارتفع الأكسجين المنحل إلى 31 % من التشبع . وقد انخفض ثاني أكسيد الكربون (عند 20 قدما) إلى 1,5 ppm وارتفع الأكسجين المنحل إلى 90 % من التشبع . وبعدئذ انخفض ثاني أكسيد الكربون عند السطح إلى 0,5 ppm ، في حين ازداد الأكسجين المنحل 6 % فوق درجة التشبع ، وبذلك بات الماء عند السطح مفرط التشبع قليلا بالأكسجين المنحل ، وبما أن عملية التمثيل الضوئي تعتمد كما بات واضحا على أشعة الشمس ، فإن هناك اختلافات في كميات الأكسجين في بحيرة أو خزان نهارا أو ليلا أو حتى في الأيام المشمسة والغائمة ، فالتحلل و النمو النباتي ، يكونان في الجو الدافئ أسرع مما يكونان عليه في الجو البارد ، ولكن حتى في الشتاء وفي ظل التجمد تحدث العمليتان ولكن بسرعات أبطأ مما هي في ظروف

الصيف .

كبح أو إنقاص الحت الكيميائي للأكسجين المنحل :

Inhibition or Reduction of Dissolved -Oxygen Corrosion

ذكرت عدة طرق لإنقاص الحت الكيميائي للأكسجين المنحل ، أو لكبحه ، لكننا نورد فيما يلي ، بشكل مختصر ، أكثرها استخداماً :

نزع الهواء من مياه تغذية المراجل

Deaeration of Boiler Feed Water

إن نزع الهواء من مياه تغذية المراجل ، بواسطة الجهاز الحديث لنزع الهواء الذي يدفع الغازات المنحلة تماما طريقة مرضية جدا ، إذ ينخفض محتوى الأكسجين إلى أقل من 0,005مل / ل (انظر الفصل الثاني) . والنزع المناسب للهواء من مياه تغذية المراجل ينقص أيضا و إلى حد كبير التآكل في خطوط إعادة ناتج التكثيف . وفيما يتعلق بخطوط البخار فإن البخار الجاف غير أكال ، كما ذكرنا سابقا .

نزع الهواء بالتفريغ Vacuum Dearation :

نزع الهواء من الماء البارد بالتفريغ ، فعال في إنقاص تأكل الأكسجين المنحل ، لكنه يستخدم عادة إلى مدى محدود فقط ، وفي هذه الحال ، يكون استخدامه غالباً لحماية خطوط الأنابيب الطويلة . إن إحدى الصعوبات التي تحد من استخدامه في أجهزة توزيع المياه هي الخطر الكامن من عودة انحلال الهواء الموجود في سطح الماء المعرض في الصهاريج التخزينية المرتفعة .

سلفيت الصوديوم Sodium Sulfite :

كثيرا ما يضاف سلفيت الصوديوم لماء تغذية المراجل البخارية لكي يتفاعل ، ويزيل بالتالي أية آثار للأكسجين المنحل ، وكما يلي :

$$O_2 + 3Na_2 SO_3 \rightarrow 2Na_2SO_4$$

على الرغم من أن هذا التفاعل ، يحدث بسرعة عند درجات الحرارة في المراجل ، إلا إنه يكون أبطأ بكثير عند الحرارة المنخفضة ، بحيث عند درجات

الحرارة المنخفضة يصبح السلفيت قليل الأهمية في إزالة محتوى الأكسجين المنحل في الماء البارد ما لم يتم تحفيز التفاعل .

لقد قيست السرعات بدون مادة حفازة ، و بتركيزين لكل من النحاس والكوبالت ، كمادتين محفزتين . فانخفض الأكسجين المنحل ، الذي كان حوالي 10 ppm إلى 7 ppm في 10 دقائق عند عدم استخدام مادة حفازة , وانخفض مع استخدام 0,1 ppm من النحاس إلى الصفر خلال 4 دقائق ، ومع 0, 001 ppm من الكوبالت إلى الصفر في دقيقة واحدة ، ومع 0,01 ppm من الكوبالت إلى الصفر في 18 ثانية .

سيليكات الصوديوم مع الصودا الكاوية

Sodium Silicate Plus Caustic Soda

تستخدم المعالجة بالسيليكات الكاوية لكبح التآكل والإزعاجات الناتجة للماء الأحمر . وتستخدم عادة جرعة بمقدار 1/10 ليبرة من سيليكات الصوديوم لكل 1000 غالوناً مع إضافة ما يكفي من الصودا الكاوية لرفع قيمة الـ PH إلى 8,3 . و تستخدم هذه الجرعة عادة في المعالجة لتسيير الماء بطريقة الزيوليت في مختلف الصناعات . و تستخدم أيضا على نطاق واسع ، في معالجة المياه الطبيعية الأكالة ، ذات المحتوى الخفيف من العسرة ، أو لتسيير الماء جزئيا ، أو كليا في البلديات ، والمباني ، والمنازل ، إلخ . لا ينبغي استخدام هذه المعالجة في مياه تغذية المراجل

الطبقات الرقيقة أو القشور لكربونات الكالسيوم

Calcium Carbonate Films or Scales

هناك حقيقة ، يعرفها المهندسون منذ زمن طويل ، هي أن قشرة كربونات الكلسيوم ، الشبيهة بقشرة البيضة ، تحمي المراجل ضد ماء التغذية ، الذي نزع هواؤه على نحو غير ملائم . وبما أنه لا يمكن التسامح حتى بالقشور الرقيقة في مراجل الضغط العالي ، فإن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها معها لكنها قابلة للاستعمال فقط في مراجل الضغط المنخفض ، وحتى في هذه المراجل ، يفضل

القيام بنزع الهواء تماما ، لأنه لا ضرورة لوجود القشرة .

وفي أجهزة تبريد الماء في الصناعة ، أو في أجهزة التوزيع البلدية ، تستخدم الطبقات أو القشور الرقيقة من كربونات الكالسيوم ، على نطاق واسع ، لكبح الحت الكيميائي للأكسجين المنحل . لقد أثبت دليل لانغلير Langelier لإشباع كربونات الكالسيوم عدم أهمية في حساب المعالجة اللازمة لتوطيد الظروف ، بحيث لا يحدث تشكيل قشري مفرط ، ولا تأكل غير ضروري . انظر الجدول 2–9 ، في الفصل التاسع ، بخصوص طريقة بسيطة لحساب الدليل .

مرشحات التعديل Neutralizing Filters :

كما ذكرنا سابقا في هذا الفصل ، فإن ترشيح المياه ذات القيمة المنخفضة للـ PH من خلال مرشحة تعديل ، سيعمل آليا على رفع قيمة الـ PH إلى 7,2 أو 7,3 ولذلك تستخدم هذه المرشحات ، على نطاق واسع ، في المباني السكنية و التجارية والرسمية وإلى حد ما في البلديات والصناعات الصغيرة ، وذلك لتخفيف التآكل .

استخدمت الكرومات ككابح للتآكل في أجهزة التبريد بإعادة الدوران المغلقة ، ولعدد محدود من الاستخدامات الأخرى . وتعتبر الجرعات اللازمة في أجهزة الدوران المغلقة 500 - 400 ppm عالية جدا . من الواضح أن لا يمكن استخدام الكرومات لأي غرض وخاصة مياه الشرب ، وذلك بسبب خصائصها السامة . وهناك سؤال مطروح ، حول ما إذا كانت الكرومات تعمل عن طريق تشكيل طبقة رقيقة من الحديد وأكاسيد الكروم اللصوقة ، أو أنها تزيد سلبية المعدن .

الحماية الكاثودية Cathode Protection :

يستخدم الجهاز الكاثودي لمنع التآكل للصهاريج ولخطوط الأنابيب . ويعتمد في تأثيره على طبقة رقيقة من الهدروجين فوق سطح الكاثود (في هذه الحالات ، أو الأنبوب أو الصهريج) تحمى المعدن ضد هجوم الأكسجين المنحل إنما يجب

الحذر في تركيب ووضع الأنودات والطلاء في الصهاريج ذات السطوح الجافة فوق الخط المائي ، الخ .

ملاحظة :

سحب العينات من أجل قياسات الأكسجين المنحل :

Sampling for Dissolved Oxygen Determination :

عند سحب العينات لإجراء قياسات للأكسجين المنحل ، من الضروري ممارسة حذر كبير ، لتفادي احتمال التقاط الأكسجين من الجو . كما يجب أن تكون درجة ممارسة الحذر ، عند سحب عينة من ماء تغذية المراجل المنزوع الهواء ، أو البخار ، أكبر بكثير مما يجب أن تكون عليه عند سحب عينة المياه الخام ، أو المياه المنزوعة الهواء . وفي سحب عينة المياه الباردة ، أي المياه بدرجات الحرارة العادية ، فإذا أجرى سحب عينة الماء تحت الضغط ، فلا بد من استخدام قطعة من أنبوب المطاط الصمغي 1/4 إنشا ، بحيث تربط إلى حنفية أخذ العينة . بينما توضع النهاية الثانية في قاع قارورة العينة الخاصة ، التي يحكم سدها بسدادة زجاجية ، يلامس أسفلها زاوية ، لتفادي احتباس الفقاعات الهوائية تحت السدادة . وعندئذ يسمح لتيار نشط من الماء بالتدفق عبر القارورة ، لمدة لا تقل عن نصف دقيقة ، ثم يسحب الأنبوب و الماء ما يزال جاريا . إذا كان يجب جمع العينة من الماء من غير ضغط ، يجب استخدام أداة ، تضمن مص حجم مناسب إلى قارورة أخذ العينة . ويمكن استخدام مضخة يدوية صغيرة ، توصل جهة المص فيها بأنبوب في (إنما لا يبرز من جهة إلى أخرى) سدادة عالية بما يكفي في عنق قارورة أخذ العينة ، بينما يمتد الأنبوب ، الذي يدخل الماء القارورة بواسطته ، إلى أسفلها . يجب الانتباه إلى ضرورة أن تكون التجهيزات المستخدمة من النوع الذي يتيح لتيار من الماء أن يطرد كامل الهواء ، وأن لا يسمح باحتباس الفقاعات الهوائية في أعلى القارورة ، وهناك وسائل أخرى لسحب العينة ، هي تلك التي يدخلها الماء ، اللازم لملء حاوية كبيرة ، من خلال قارورة أخذ العينة أصغر نسبيا في حالة سحب عينات ماء التغذية الحار ، المنتزع الهواء ، أو البخار ، أو ناتج التكثيف يستخدم ملف نحاسي (1/4 أو 5/16 أنشا ، حجم مناسب) مبرد بالماء ، وتترك بارزة بطول 8 أو 10 إنشا تحت الدثار المائي ، بحيث تصل إلى قاع القارورة أثناء سحب العينة ، أو أنها تربط مباشرة إلى قارورة ماكلين Mclean أو إلى أداة سحب عينة مشابهة . يقوم اختبار وينكلر Winkler ، الذي استنبط عام 1888 ، على أساس حقيقة أن الهيدروكسيد المنغنيزي يتأكسد بسرعة بواسطة الأكسجين المنحل ، وأنه عندما ينحل الأكسيد المميّأ بدرجة أعلى بواسطة الحمض ، بوجود يود البوتاسيوم ، يتحرر اليود بكمية متكافئة لكمية الأكسجين المنحل ، الذي كان موجوداً . وعندئذٍ يعاير اليود المتحرر مع ثيو سلفات الصوديوم .

ونورد فيما يلي التفاعلات المشاركة :

1) $Mn SO_4 + 2Na OH \rightarrow Mn (OH)_2 + Na_2 SO_4$

2) $2Mn (OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO (OH)_2$

3) $MnO (OH)_2 + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + I_2 + 3H_2O$

4) $I_2 + Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$

ومع أن العناصر القاعدية المشاركة ، هي نفسها ، فقد أجري عدد من التعديلات للتغلب على تأثيرات الشوائب ، ولزيادة حساسية الاختبار . تستخدم طريقة وينكلر عادة من أجل المياه ، التي تحتوي على 1 مل/ل أو أكثر من الأكسجين المنحل ، أما تعديلات شفارتز - غورني Schwartz - Gurney ، فتستخدم *لاختبار المياه المنزوعة الهواء .*

كبريت (*سلفيد) الهدروجين Hydrogen Sulfide :*

تعرف المياه التي تحتوي على السلفيدات عادةً بـ " المياه الكبريتية " . ومن أبرز مزاياها شيوعاً رائحتها الكريهة الشبيهة برائحة البيض الفاسد ، وأكوليتها الملحوظة . وهذه الرائحة هي الرائحة المميزة لغاز سلفيد الهيدروجين وتمكن ملاحظته حتى على البارد ، عند وجوده في الماء إلى مدى 0,5 ppm وعندما يوجد إلى مدى أكثر من 1 ppm تصبح رائحته كريهة جداً . وقد تكون الرائحة بسيطة ، إذا كانت قيمة الـ PH الماء عالية ، لأنه في هذه الحالة ، قد يوجد كثير من الكبريت كسلفيد هيدروجيني .

إن أكثر المياه الكبريتية ، هي مياه جوفية . وقد أدرجنا في الجدول 11−3 تحاليل 25 عينة من هذا الماء . وسوف نلاحظ أن محتوى السلفيد في هذه العينات يتراوح ، عندما يعبر عنه بسلفيد الهيدروجين ، من 0,7-70 ppm .نصادف أحياناً مياهاً تحمل كميات من سلفيد الهيدروجين أعلى من الحد الأقصى هذا ، ولكن كافة المياه الكبريتية تقريباً ، والصالحة للاستعمال ، تحتوي على كمية منه أدنى من 10 ppm ومحتوى أكثرها يكون دون 5 ppm .

وتعطي بئر أحياناً ماء أسود ، بسبب وجود سلفيد الحديد (FeS) ويكون هذا السلفيد ناعماً جداً ، ولا يحتاج صبغ الماء بالأسود إ لا لكمية بسيطة جداً منه وفي بعض الأحيان ، قد نصادف مثل هذه المياه السوداء في الخطوط الرئيسية ذات الطرف المسدود ، حيث يؤدي التأثير الجرثومي إلى تحويل بعض من محتوى السلفات إلى سلفيد . في هذه الحالات ، يخرج الماء عادة على شكل طلقات Shots . فمثلاً عند فتح صنبور رئيسي قد تكون هناك إطلاقه من الماء الأسود على مدى لحظات فقط ، وبعدئذ يجري الماء صافياً ، ولكنه بتركيده خاملاً لفترة

قصيرة ، سيظهر مزيد من الماء الأسود . تعالج هذه المشكلة بالكلور ، على أن تكون المعالجة في البداية شديدة ، مع الاكتساحات لتنظيف الأنابيب الرئيسية ، ومع وجوب إبقاء ثمالة طفيفة من الكلور هناك .

والمياه الحبيسة ، ومياه حقول الزيت المالحة أيضاً كثيراً ما تحتوي على كميات غير مرغوب فيها من سلفيد الهيدروجين ، وقد تكون أكالة جداً على الرغم من أن أكثر الرواسب الأكالة من المياه الكبريتية هي من سلفيد الحديد FeS إلا أن الرواسب الأكالة ، في الأنبوب المتآكل على نحو سيئ ، قد تتألف من FeS_2 بدلاً من FeS . تستخدم التهوية على نطاق واسع ، لتخفيف محتوى السلفيد في المياه الكبريتية ، ولكن هذا التخفيف ، وخصوصاً في المياه ذات القلوية العالية جداً ، يكون عادة جزئياً فقط . فمثلاً ، أظهرت التجارب التي أجريت على تهوية ثلاث عينات من المياه الكبريتية .

أن التهوية أنقصت محتوى السلفيد ، معبراً عنه كـ H_2S ، فقط إلى المدى المبين في الجدول 11ـ 3 وقد لوحظ أن المياه المهوَّاة ، كانت قلوية بالنسبة للفينول فثالين ، في حين كان كل ما احتوته المياه الخام ، بعضاً من ثاني أكسيد الكربون الحر ، الأمر الذي يوحي بإضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الماء لخفض قيمة الـ PH فيه , وفي المحاولات الأولى التي أجريت لتنفيذ ذلك ، أدخلت زيادات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون إلى الماء ، حيث عبرت من خلال الماسورة الصاعدة إلى جهاز التهوية . لقد أدى هذا إلى خفض محتوى السلفيد في الماء ، ولكن ليس إلى المدى المرغوب فقد وجد أن كامل أكسيد الكربون تقريباً ، قد غادر الماء من الحوضين العلويين لجهاز التهوية .

الجدول 3.11 . تهوية ثلاث عينات من الماء

العينات	محتوى السلفيد كأجزاء من H_2S /مليون	
	دفق جهاز التهوية	ماء خام

أ ماء كبريتي	1,3	3,5
ب ماء كبريتي	1	2
ج ماء كبريتي	0,8	2,2

وأجريت الاختبارات التالية في نمط مغلق لجهاز تهوية قسرية ، نفخ فيه غاز المداخن الصناعي باتجاه الأعلى من خلال جهاز التهوية ، بتيار معاكس للماء النازل وهذا الإجراء لم يخفض فقط الـ PH من الماء بل أبقاها منخفضة أثناء عبورها خلال كل من الأحواض ، وأحدث الدرجة المرغوب فيها من التخفيض إلى 0,2 ppm وبعدئذ طرح بالمعالجة بالكلور .

إن كلا من سلفيد الهيدروجين ، وثاني أكسيد الكربون ، عندما ينحل في الماء، يتشرد على نحو ضعيف جداً ومن الممكن عزل كل من هاتين المادتين من قلويتها ، أو ملحها الأرضي القلوي ، عن طريق نفخ تيار من الغاز الآخر عبر المحلول . مع ذلك ، فإن الحقيقة الهامة والغير سارة ، في معالجة المياه الكبريتية هي خروج ثاني أكسيد الكربون بسهولة أكبر من سلفيد الهيدروجين الأكثر ذوبانية وحال خروجه أيضاً ، ترتفع قيمة الـ PH (على فرض أن الماء قلوي بشكل طبيعي) ، الأمر الذي يقلب التوازن بين السلفيدات القلوية ، وسلفيد الهيدروجين ، بحيث يتقدم التفاعل في الاتجاه الخاطئ من أجل إزالة سلفيد الهيدروجين . وقد حسب بعضهم من أجل درجة حرارة 20مئوية ، سلسلة عوامل تظهر كمية السلفيد الإجمالية ، الموجودة على شكل سلفيد هيدروجين عند مختلف قيم الـ PH (الجدول 12. 3) .

ووفقا لهذا ، إذا أظهر قياس السلفيد الإجمالي ، معبراً عنه كسلفيد الهيدروجين ، رقماً ما ، وكانت قيمة الـ PH تساوي 5 ، حينئذ ، يكون موجوداً 98 % من السلفيد الإجمالي على شكل سلفيد هيدروجين و2 % فقط على شكل شوارد سولفيد . وبالمقابل ، إذا كانت قيمة الـ PH في الماء تساوي 9 ، فإنه يجب أن يوجد أكثر بقليل من 0.5 % على شكل سلفيد هيدروجين ، والباقي يجب أن

يكون موجوداً كسلفيد أرضي قلوي ، أو سلفيد قلوي .

الجدول3.12 . عوامل سلفيد الهيدروجين

العامل	قيمة الـ PH
0.98	5
0.86	6
0.39	7
0.060	8
0.0063	9

إن تأكسد السلفيدات ، بواسطة الأكسجين المنحل ، هي فيما يبدو عملية بطيئة إلى حد ما . وفي بعض التجارب التي أجريت على المياه الكبريتية المهوّاة فإن التركيد في قوارير زجاجية لمدة ساعتين ، وبدرجة 82ف لم تحدث درجة من الأكسدة يمكن قياسها . وفي هذه التجارب ، تتفاوت كمية سلفيد الهيدروجين في المياه المهوّاة من أقل بقليل من 1 إلى أكثر من 1 ppm وكانت هذه المياه صافية ، تحتوي على أقل من 0,1 ppm من الحديد ، ولم تكن القوارير في أشعة الشمس المباشرة .

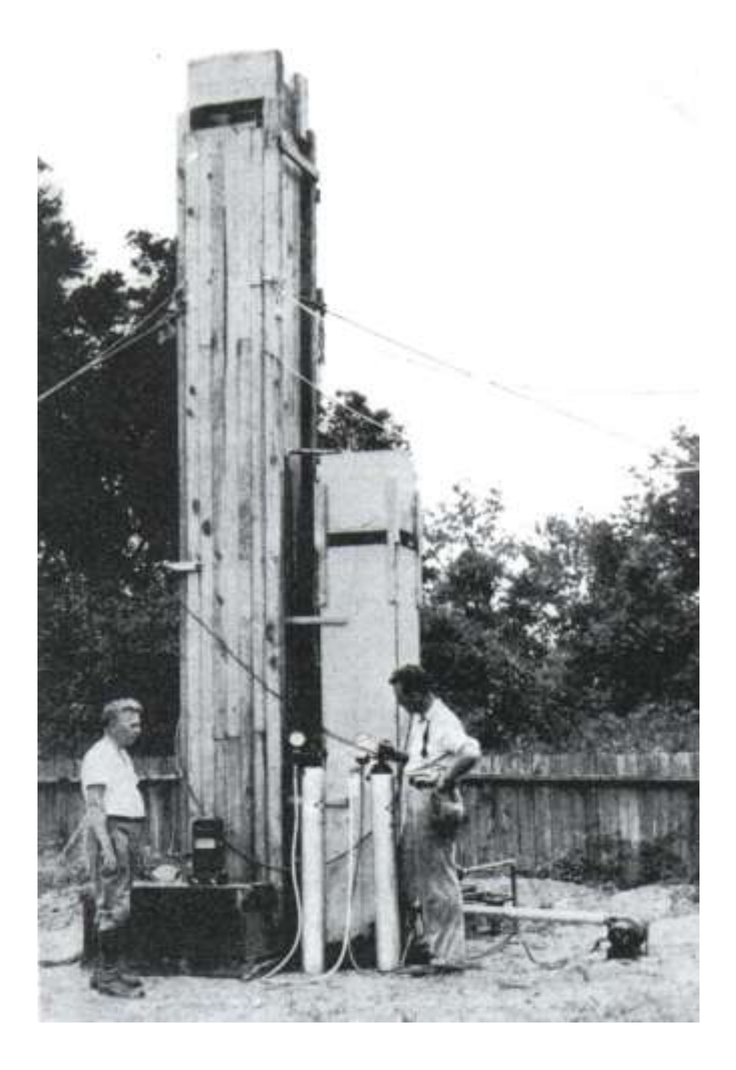
تخضع المياه الكبريتية المهوّاة في الخزانات الكبيرة لتأكسد بطيء مع تحرر الكبريت ، الذي يكون الكثير منه ناعماً جداً إلى الحد الذي يكون فيه غراوانياً . كثيراً ما تظهر هذه المياه صافية عند معاينة كأس مليئة تحت أشعة الشمس المباشرة . ويظهر الماء نفسه ، في خزان مغطى أو معتماً ، ظاهرة تندال Tyndall ، عندما يوجه إليه شعاع ضوئي والتفاعل الذي يحدث أولاً هو تأكسد هيدروجين سلفيد الهيدروجين ، وكما يلي :

$$H_2S + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O + S$$

ومن المفترض إذن أن يتأكسد بعض من هذا الكبريت المجزأ ناعماً إلى حدٍّ أبعد إلى كبريتات كناتج أخير قطعيّ , ومع إعطاء وقت غير محدود وأكسجين كاف ينبغي أن يؤكسد كامل الكبريت إلى كبريتات ولكن هذه الظروف غير موجودة في

التطبيق العملي ، ويكون الكبريت العنصري واضحاً جداً ، وكذلك تظهر أكثر أجهزة التهوية وخزانات المياه المهوّاة بعد التشغيل لبعض الوقت على المياه الكبريتية نماءات من الجراثيم الكبريتية التي كثيراً ما تلعب دوراً هاماً في إنقاص محتوى السلفيد .

قد يستخدم الكلور أيضاً لأكسدة السلفيدات ، لكن هذه الطريقة مكلفة إلى حد ما ، على المياه الكبريتية الخام ، لأنها واعتماداً على PH الماء ، وكمية السلفيد الموجودة قد تلتقط 8 ذرات من الكلور ، لأكسدة جزيء واحد من سلفيد



الصورة 5 .3 أجهزة تهوية المياه الكبريتية بغاز المداخن .

الهيدروجين ، بدلاً من ذرتين تلزمان نظرياً لأكسدة هيدروجين سلفيد الهيدروجين إلى ماء ، وتحرير الكبريت . يحدث هذا لأن كامل السلفيدات أو الجزء الأكبر منها ، يتأكسد إلى كبريتات ، وتحدث هذه إلى مدى كبير حتى عند إضافة كمية غير كافية من الكلور . إن استهلاك الكلور عند قيم الـ PH التي تتراوح من 3,2 10,1 ، مع ماء يحتوي على 5 ppm من السلفيدات ، والمعبر عنها كـ H_2S يظهر في الجدول 14 .3 وقد استخدمت زيادة من الكلور في هذه الاختبارات ، وكانت فترة الاحتباس 10دقائق ، وأجريت كافة القياسات بطريقة اليودو متريك Iodo metric Method ، لأنها غير حساسة للكبريت الغراوني .

إن كمية الكلور اللازمة لأكسدة 1 ppm منH_2S إلى كبريتات هي 8,32 ppm ، والتفاعل كما يلي :

$$H_2S + 4\ Cl_2 + 4\ H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8\ HCl$$

وكمية الكلور اللازمة لأكسدة 1 ppm من H_2S إلى حمض وكبريت ، هي 2,08 ppm والتفاعل كما يلي:

$$H_2S + Cl_2 \rightarrow S + 2\ HCl$$

إن كمية الكلور اللازمة لأكسدة 5 ppm من السلفيدات ، و المعبر عنها كـ H_2S هي : **5 × 8,32 = 6. 41 ppm**

الجدول 3.13 سلفيد الهيدروجين: الذؤوبيات عند 760 مم ، وعند 0 ْ. 100ْمئوية

درجة الحرارة		ميلي لترفي اللتر (مل / ل)	أجزاء في المليون ppm
ف	مئوية		
32	0	4590	7070
41	5	3900	6000
50	10	3320	5110
59	15	2870	4410
86	20	2500	3850
77	25	2190	3380

86	30	1940	2980
104	40	1530	2360
122	50	1220	1880
140	60	962	1480
176	80	479	765
212	100	0	0

الجدول 3.14 سلفيد الهيدروجين :

الأوزان وعوامل التحويل لسلفيدات الهيدروجين المنحلة .

الوزن (بالغرامات بدرجة 0 مئوية ، و760 مم) **1 لتر =1,539** **1ميلي لتر=0,001539**
تضرب أجزاء H_2S /مليون بـ 0,649للتحويل إلى مل / ل **تضرب الميلي لترات من H_2S / ل بـ 1,54 للتحويل إلى أجزاء / مليون**

الجدول 15-3 . تأكسد السلفيدات بواسطة الكلور ، عند مختلف قيم الـ PH

(فترة الاحتباس : 10 دقائق) .

قيم الـ PH النهائية	السلفيدات كأجزاء/مليون من H_2S	الكلور المضاف أجزاء / مليون	الكلور المتبقي أجزاء / مليون	الكلور المستهلك أجزاء / مليون
3,2	5	50	6	44
5	5	50	7	43
6,2	5	50	7	43
6,4	5	50	9	41
6,8	5	50	11	39
7,1	5	50	18	32
7,6	5	50	18	32
9	5	50	25	25
10,1	5	50	25	25

في هذه الاختبارات تأكسدت السلفيدات تماماً إلى كبريتات عند قيم للـ PH دون 6,4, وعند قيمة حوالي 7 تأكسد 70 % إلى كبريتات ، و30 % إلى ماء

وكبريت ، وعند قيم من 9 – 10 ، تأكسد أقل بقليل من 50 % إلى كبريتات ، واكثر بقليل من50 % إلى كبريت وماء .

ملاحظة : كما يظهر في تفاعل تأكسد سلفيد الهيدروجين إلى سلفات ، فإنه يتشكل كل من حمض الكبريت وحمض كلور الماء . فيعادل هذان الحمضان بعضاً من قلوية الماء ، ويشكلان الكبريتات و الكلوريد . فإذا كانت قلوية الماء الخام ضعيفة ، فقد تؤثر بصورة محسوسة في قيمة الـ PH .

على الرغم من الكلفة العالية ، التي تستلزمها معالجة المياه الخام ، التي تحمل محتويات عالية من السلفيدات بالكلور ، فإن هذه المعالجة ذات أهمية كبيرة في طرح الثمالات القليلة من تدفقات العمليات الأخرى لإزالة السلفيدات . فمثلاً إن ماءً يحتوي على 0,5 ppm من سلفيد الهيدروجين يتطلب 4 ppm أو 30/1 ليبرة لكل 1000 غالوناً ، أو 33 ليبرة من الكلور لكل مليون غالوناً ، وذلك لأكسدة السلفيد إلى كبريتات .

عندما تكون المياه الكبريتية قيد الدراسة ، يبدو واضحاً أن أول شيءٍ يجب اكتشافه ، هو مقدار السلفيد الموجود في الماء . ومن الغريب جداً أن ذلك لا يتم عادةً . وبدلاً من ذلك ، يتم تحليل الماء بدقة من أجل كل مقوم آخر . وسبب هذا الإجراء السخيف ، هو أن قياسات السلفيد ، يجب أن تجرى ميدانياً لأن العينات المنقولة تخضع لأكسدة كافية أثناء نقلها ومعالجتها بشكلٍ تفسد معه النتائج .

ملاحظة (1) :

العينات المغلقة من الماء ، والتي تحمل 4,6 ppm منH_2S تهبط إلى 2,9 ppm في 24 ساعة ، وإلى 0 في 72 ساعة . لقد جرى تجريب مختلف الخطط ، مثل ترسيب السلفيد على شكل سلفيد رصاص أو سلفيد كادميوم ، وذلك قبل نقل العينات ، ولكن أياً من هذه الخطط لم ينجح . وفي حالتي أكسيد الرصاص ، أو أكسيد الكادميوم ، وجد انهما يتأكسدان بسرعة ، على الأقل ، أثناء النقل ، مثل محتوى السلفيد في الماء غير المعالج . ولذلك ، فإن العينة المنقولة غالباً لا تظهر محتوى من السلفيد عند وصولها إلى المختبر . ولهذا السبب ، ينصح بإجراء الاختبارات ميدانيا ، وهي اختبارات إجراؤها بسيط وسريع وسهل نسبياً .

ملاحظة (2) :

عند سحب عينة من المياه الكبريتية ، سنجد أن الإجراء التالي مرضياً :

إذا كان الماء تحت الضغط ، يربط طرف أنبوب مطاط صمغي ، بطول 4/1 إنشاً إلى حنفية أخذ العينة ، ويوضع الطرف الآخر في قاع قارورة العينة الزجاجية ، سعة 500 ملل ، ويفضل أن تكون سدادتها

من الزجاج . ويسمح للماء بالتدفق عبر القارورة ، بسرعةٍ نشطة ، لمدة لا تقل عن نصف دقيقة ، وعندئذٍ يسحب الأنبوب والماء لا يزال جارياً . يضاف حالاً محلول يودي قياسي ، ويمزج ثم يترك المزيج مستقراً على مدى بضع دقائق . وبعدئذٍ تستأنف عملية المعايرة . في حالة المياه الكبريتية في الصهاريج أو الخزانات ، يجب تزويد قارورة أخذ العينة بسدادة مطاطية ذات ثقبين ، يعبر أحدهما أنبوب زجاجي ، يمتد تقريباً إلى قاع القارورة . ويزود الثقب الثاني بقطعة قصيرة من أنبوب زجاجي ، تتساطح نهايته الداخليه مع أسفل السدادة . وإذا كانت الارتفاعات تسمح بذلك ، فإنه يمكن تثبيت سيفون ببعض القطع من أنبوب مطاط صمغي 4/1 إنشاً . في هذه الحالة ، يسمح للماء بأن يمص خلال القارورة لمدة دقيقة أو دقيقتين ، قبل متابعة الاختبار . وإذا كانت الارتفاعات لا تسمح باستخدام السيفون ، فإنه يربط طرف المص ، في مضخة يدوية ، إلى طرف التفريغ في القارورة ، ويسحب الماء بهذه الطريقة عبر القارورة. وعند استخدام المضخة ، يجب أن يكون الأنبوب المطاطي ثقيلاً بما يكفي ، بحيث لا ينطوي تحت المصّ .

يمكن إنقاص محتوى السلفيد أو إزالته في المياه الكبريتية بطرق خاصة ، كالتهوية أو إزالة الغاز ، أو المعالجة بالكلور . وسوف نأتي على وصف هذه الطرق في الفصل العاشر . سلفيد الهيدروجين غاز سام جدا ، ويجب أن تكون التجهيزات ، المعدة لإزالته في العراء ، وليس في حجرة مغلقة ، حيث ينطوي هذا على خطر احتباس الغاز . ولحسن الحظ ، فإن رائحته الكريهة تقدم إنذاراً واضحاً بوجوده ، ولكن لا يجب التعويل كثيراً على هذا لأن عمالاً قتلوا بسلفيد الهيدروجين ، وهم يعملون في جو لم يبد عليه التلوث .

الميثان Methane :

وجد الميتان بكميات تكفي لتشكيل حريق وانفجار عن طريق الصدفة ، في عدد قليل نسبيا من المياه الجوفية . ففي ميتشيغن ، وجد ماء من هذا النوع ، من بئرٍ في طفلٍ جليدي . فعند تحرير الضغط (كما يحدث عند سحب الماء من صنبور) أصبح الماء لبنياً بفقاعات الغاز التي اشتعلت بلهب أزرق عند تماسها مع الثقاب المشتعل . إن تياراً من هذا الماء المشبع (عند الضغط الجوي) بالميتان ، يجري إلى مغسلةٍ في حيز مغلق ، قد يطلق بسهولة من الغاز ما يكفي لإحداث انفجار , وعند التهوية يمكن حتى لتراكيز أدنى أن تطلق كميات خطرة من

الغاز . لذا يتوجب إقامة أجهزة التهوية المستخدمة لهذا الغرض في أرضٍ مكشوفة بعيداً عن أي محركات أو معدات قد تسبب شرراً أو لهباً .

ينطلق الميتان عادةً في المياه المستنقعية الراكدة ، حيث تحدث العمليات التعفنية ، ومن هنا اكتسب اسم **غاز المستنقعات** أي Marsh Gas وقد لا يكون هذا الغاز نادر الوجود ، لأنه يوجد أحياناً في موارد مائية ، كتلك التي يكون وجودها نادراً . وعموماً ، وجدت مياه الآبار ، التي تحتوي على الميتان ، في الطفل الجليدي ، وفي مناطق آبار الزيت والغاز . لقد أوردت إحدى الصحف الأمريكية ، تحت عنوان (الميتان في المياه الجوفية) ، تحاليل لبعض من مياه الآبار في **إيلينوي** ، والتي تحتوي على الميتان . فتراوحت كميات الميتان في هذه المياه من 0,1 – 11,6 قدماً مكعباً في كل 1000 غالوناً . وهذا يكافئ تقريباً 0,8 . 87 ملل الميتان في اللتر من الماء . وبما أن ذوبانية الميتان ، بدرجة 60 ف ، عند الضغط الجوي تزيد قليلاً فقط عن 36 مل / ل ، فإن الماء الذي يحتوي على 87 مل / ل يجب أن يخرج الفقاقيع في درجات الحرارة العادية عند تحرير الضغط .

الجدول 16 . 3 . ذوبانية الميتان عند 760 مم ، وعند ° 0 . ° 100 مئوية .

درجة الحرارة		ميلي لتر في اللتر (مل / ل)	أجزاء في المليون ppm
ف	مئوية		
23	0	55,3	39,6
41	5	47,6	34,1
50	10	41,3	29,6
59	15	36,3	26
68	20	32,4	23,2
77	25	29,2	20,9
86	30	26,6	19
104	40	22,2	15,9
122	50	19	13,6
140	60	16	11,4

176	80	9,7	7
212	100	0	0

الجدول 3.17 . الميتان : الأوزان وعوامل التحويل من أجل الميتان المنحل .

الوزن (بالغرامات عند 0° مئوية و760مم) 1 ل = 0,716غ 1مل = 0,00071 غ
تضرب أجزاء CH_4 / مليون بـ 1,40 للتحويل إلى مل / ل تضرب مل / ل من CH_4 بـ 0,716 للتحويل إلى أجزاء / مليون

رغم أن الميتان ، في حد ذاته ، لا يثير الاعتراض بوجوده كما يبدو ، في مياه الشرب إلا أنه ينصح بتهوية الماء ، سواءً للأغراض الصناعية ، أو للاستخدامات المنزلية ، وذلك لاستبعاد الحريق والانفجار العارضين . ويمكن ببساطة كبيرة ، إجراء ذلك بأي نمط من أجهزة التهوية ، ولكن ينصح باستخدام النمط المكشوف لجهاز التهوية ، حيث يمكن للغاز أن يفلت بسهولة إلى الجو . كما يجب أيضاً ، وكما ذكرنا سابقاً ، وضع التجهيزات على مسافة أمان من أي مصدر للشرر أو اللهب .

الفصل الرابع

العكارة ، والراسب ، واللون , والمادة العضوية ، والاختبارات والروائح , والمتعضيات المجهرية

Turbidity, Sediment, Color, Organic Matter, Testes, Odors and Microorganisms

قد تحتوي المياه ، إضافة إلى المادة المعدنية المنحلة (الفصل الثاني) ، والغازات المنحلة (الفصل الثالث) شوائب أخرى . ونقوم بتصنيف تلك الشوائب ، في هذا الفصل ، تحت العناوين الرئيسية التالية :

(1) العكارة والرواسب .

(2) اللون والمادة العضوية .

(3) الطعم والرائحة .

(4) المتعضيات المجهرية .

أولاً – العكارة والرواسب Turbidity and Sediment

إن أية شوائب غير ذوابة ، ومجزأة ناعمة ، وأياً كانت طبيعتها ، وقد تكون معلقة في الماء ، فتفسد صفاءه ، تعرف إجمالاً **بالعكارة** . قد تكون هذه الشوائب المعلقة من طبيعة غير عضوية ، كالطين ، أو الدقيق الصخري ، أو الطمي ، أو كربونات الكلسيوم ، أو السيلكا ، أو هيدروكسيد الحديد ، أو الكبريت ، إلخ ، أو قد تكون من طبيعة عضوية , نباتية أو حيوانية متفتتة ، كاالزيوت أو الدهون أو الشحوم أو المتعضيات المجهرية ، إلخ . وقد تعزى العكارة إلى مادة واحدة ، وهو الأكثر شيوعاً ، أو إلى مزيج من المواد .

إن هذه الشوائب المعلقة ، قد تتراوح حجماً ، من جزيئات غروانية إلى مادة رملية خشنة ، وهذه لا تبقى عالقة إلا بتأثير الجريانات السريعة والمضطربة . وتسمى **بالراسب** ، والخط الفاصل بين العكارة والراسب ليس صارماً ، ويحمل الكيميائيون أفكاراً مختلفة جداً ، فيما يتعلق بمكونات العكارة و الراسب . يضاف

إلى ذلك وجود عامل تجمع الجزيئات الأصغر إلى الجزيئات الأكبر ، الذي كثيراً ما يحدث في العينات المنقولة . وقد تكون الطريقة الأكثر عملية مع هذه العينات ، هي رجّها بعنف قبل القيام بقياس العكارة ، وتصنيف المادة الخشنة جداً ، والتي لا يمكن قياسها بمقياس العكارة كراسب . وفي الحقل إذا كان الراسب كبيراً بما يكفي لضمان ترسيب أوليّ قبل التخثر ، كما هي الحال مع مياه بعض الأنهار ، فستكون اختيارات الترسيب ، خلال فترات موقوتة ، ذات أهمية .

العكارة ليست قياساً صحيحاً لكتلة الجزئيات المعلقة . وبدلاً من ذلك ، هو مقياس لشفافية الماء مقارنة مع بعض المعايير الكيفية ، ويختلف هذا مع اختلاف المواد ، ودرجات نعومتها . ومن هنا ، يصعب توقع أن يحتوي ماء ، ينبثق من تحت مَجلْدة على أوزان متساوية من المواد الغير ذوابة ، لمجرد أن صدف وكانت لا شفافياتها متساوية ، وذلك عند احتواء ذلك الماء على دقيق صخري أبيض مجزأ ناعماً ، وماء نهر طيني ، وماء يحتوي على هيدروكسيد الحديد المعلق . ولكنها مسألة ضئيلة الأهمية ، بقدر ما يتعلق الأمر بالمياه السطحية الخام ، لأننا سنرى فيما بعد ، إن العكارة في ماء ما ، يختلف عادة من وقت لآخر ، وضمن مدى واسع ، وان كل ما نحتاجه هي طريقة سريعة لمقارنة المادة المعلقة . ولأغراضٍ (وهي محدودة جداً) حيث تكون المادة المعلقة دائماً من الطبيعة نفسها ، يمكن قياس الفرق بين العكارة المرئية و الوزن الفعلي للمادة المعلقة ، وتطبيق عوامل التصحيح على القراءات التالية . و الطريقة القياسية لقياس العكارة للماء و الماء المهدور ، ينبغي أن تكون طريقة شمعة جاكسون ولكن يمكن استخدام المستعلقات المعايرة بهذه الطريقة ، مع أو بدون تخفيف الوسائل الأخرى . وفي الطريقة القياسية لقياس العكارة بشمعة جاكسون ، تقاس العكارات من أعماق الماء ، الذي تختفي من خلال شعلة الشمعة عندما ينظر إليها طولياً من خلال أنبوب . ونورد فيما يلي باختصار عدداً من هذه الأعماق والعكارات المطابقة :

72.9 سم = 25 ، 39.8 سم = 50 ، 21.5 سم = 100

10.8 سم =200 ، 4.5 سم = 500 ، 2.3 سم = 1000

ملاحظة : أعدت وحدات العكارة هذه أصلاً ، لكي تكون مكافئة لأجزاء في المليون لمستعلقات السيليكا القياسية ولذلك يعبر عن العكارات غالباً بأجزاء في المليون . وهذه العكارات من الناحية العددية ، هي ذاتها كوحدات العكارة . وهكذا إذاً حمل الماء كعكارة (100 جزءاً بالمليون) أو (100) (بدون أجزاء بالمليون) ، فإنه يعني ببساطة أنه غير شفاف ، وفي مقياس العكارة بشمعة جاكسون ، يختفي لهب الشمعة ، عند رؤيته عبر عمق 21.5 سم للماء في الأنبوب .

وفي التطبيق العملي ، تستخدم عادة المستعلقات القياسية (التي تمت معايرتها بواسطة مقياس العكارة بالشمعة ، وتخفف بإضافة كميات محسوبة من الماء) لكافة القياسات ، باستثناء القياسات المنخفضة جداً . تحفظ القياسات المعيارية بإضافة (ا) غ من ثاني كلور الزئبق لكل لتر ، وتحفظ عادة في قوارير زجاجية شفافة ، ذات حجم مناسب للمدى المناسب (القوارير من سعة 8 أونساً مناسبة للمدى 5 – 100 التي تستخدم على نطاق واسع) . ترج العينة ، وتصب إلى قارورة نظيفة من نفس الحجم كالقياسات المعيارية ، وبين رجّات قارورة العينة و القوارير القياسية ، تقارن العينة بالنظر في وقت واحد ، من خلال النوعين إلى ورقة بيضاء بعدسات سوداء أو مطبوعاً فوقها . وبهذه الطريقة ، يمكن تقدير عكارة العينة بسهولة كبيرة ،لأنها ستكون قريبة من عكارة العينات القياسية ، أو في الوسط بين عينتين منها . إن المماحكة اللفظية غير ضرورية ، فإذا ظهر أن العينة تقع بين القياسين 40 و60، فإنه يكفي أن ندعوها 50 ، وهذا أفضل من إكمال الرقم إلى 48 أو رقم ما آخر.

ملاحظة :_سلسة قياسات مناسبة لأهم عمل ، هي : 0 ، 5 ،10 ، 20 ،40 ، 60 ،80 ، 100 . يمكن إدخال العينات العالية العكارة إلى هذه السلسة ، عن طريق تخفيفها بماء مقطر . وفي السلسة الشديدة الانخفاض (دون5) ، يمكن استخدام أنابيب نيسلر Nessler ، كما تجري القياسات العيارية المخففة في هذه الأنابيب ، أو قد يستخدم مقياس بايليس Bayliss للعكارة ، أو نمط سانت لويس st.lOuis

العكارة في التيارات الجارية Turbidity in Flowing Streams

يلاحظ أن هذه العكارات تتراوح من أقل من 1 (مع تفسير العبارة الغامضة " آثار" لتعني أقل من 1) حتى 27500 . وما لم تعاين طولانياً من خلال أنابيب

طويلة ، فإن هذه المياه ذات الحد المنخفض من العكارة ، ستبدو بلورية شفافة ، بينما تكون المياه ذات الحد الأعلى عكرة جداً , وسيلاحظ أيضاً أن هناك اختلافاً كبيراً بين العكارة الدنيا والقصوى في كل نهر . ويشاهد أصغر اختلاف ، حيث تكون العكارة العليا حوالي ثلاثة أضعاف العكارة الدنيا ، ويشاهد أعلى اختلاف ، حيث تكون العكارة العليا تقريباً حوالي ألفي ضعفٍ للعكارة الدنيا . ويبين هذا بوضوح ، سبب كون القياس المفرد لعكارة نهر مشكولة بأهميته .

ملاحظة : مع أن أعلى عكارة في معظم الأنهار هي بحدود 27500 ، فإن هناك بعض الأنهار العكرة جداً ، حيث تصل عكارتها إلى 60000 أو أكثر .

إن العكارة في نهر ما ، تختلف أيضاً عند مختلف المواضع ، على امتداد مجراه . فهو قد يبدأ كنهر نقي تقريباً ، ويتابع مجراه على هذا النحو لعدة أميال ، لكنه فيما بعد ، وعلى امتداد مجراه ، قد تدخل في عكارته كثير من المادة المعلقة ، بحيث يتحول إلى نهر عكر جداً . وقد يحدث العكس أيضاً ، أي أن قد تدخل مياه نهر عكرة جرماً كبيراً ساكناً من الماء ، كبحيرة ، أو بركة ، أو سدّ ، ثم تبرز عند المخرج كنهر صافٍ نسبياً . قد يكون التغيير في العكارة مخيفاً في بعض الحالات ، لأن التيار الداخل ، قد يكون عكر جداً ، وقد يخرج شفافاً بلورياً تقريباً . مع ذلك ، لا يجب الاستنتاج ، أن هذه هي الحال في جميع الفصول ، لأنه وكما سنرى في المقطع التالي ، قد تظهر البحيرات ، البرك ، والسدود أحياناً ، عكارة عالية ، قد تبدل كثيراً صفة النهر عند خروجه .

العكارة في البحيرات ، والبرك ، والسدود

Turbidity in Lakes, Ponds and Reservoirs

يمكن اعتبار البحيرات ، والبرك ، والسدود كأحواض ترسيب كبيرة ، ولكن أن نستنتج من هذا ، أن مياهها ، لهذا السبب ، يجب أن تكون خالية من العكارة ، أو أن العكارة في مياهها منخفضة جداً ، هو استنتاج خاطئ . لأن هذه الأجرام

المائية قد تحتوي على الأقل كميات محسوسة جداً من العكارات . وينبغي أن نشير أن أساس اختبارات العكارة يجب أن تتم في مواضع محددة خلال فترة عشوائية مدتها عام واحد . وفي هذه المواضع ، هناك في كل حالة ، بعض العوامل المثبتة ، كبعد المأخذ Intake عن الشاطئ ، وعمقه ، والجزء من البحيرة ، أو البركة أو السدّ الذي يتمركز فيه . فقد تؤثر هذه المواضع بشدة على العكارة . ولذلك فإن مأخذاً آخر ، في الجرم المائي نفسه ، إنما على مسافة مختلفة من الشاطئ ، أو على عمق مختلف ، أو من موضع مختلف ، قد يظهر نتائج مختلفة تماماً .0

ملاحظة :

كمثل توضيحي (وليس قائماً على الافتراض) ، وحدة صناعية كبيرة ، تقوم على إحدى البحيرات الكبيرة ، أنشأت مصنعاً للترشيح ، أنشئ تصحيحه على أساس ما يعتبر أن العكارة القصوى لمياه البحيرة . وعندما وضع مصنع الترشيح في الخدمة ، وجد أن من المستحيل تشغيله فوق نصف طاقته المقدرة . وحتى بهذه السرعة المنقوصة للجريان ، كان جهاز الترشيح يدور فترة قصيرة مدتها ساعة و نصف الساعة . وأسباب هذه الشؤون العاثرة ، هي أن العكارة التي ظهرت ، كانت عدة أضعاف ما كان متوقعاً ، وان ما يعرف بحوض الترسيب ، الذي يتقدم أجهزة الترشيح ، كان صغيراً جداً ، بحيث عمل فقط كحجرة تخثير ، فوقع عبء العمل بالكامل تقريباً على أجهزة الترشيح . وفي هذه الحالة إن العوامل التي لم تؤخذ في الحسبان ، هي أن قراءات العكارة المستخدمة ، كانت من مأخذ ، يتوضع في البحيرة ، على مسافة كبيرة من الشاطئ ، وعلى عمق كبير ، بينما كان مأخذ المصنع يتوضع على شاطئ خليج ، وعلى عمق 12 قدماً تقريباً فقط . وكان الخليج ضحلاً أكثر من مكان مأخذ المصنع ، كما كان طينيّ القاع ، وملوثاً بالنفايات التجارية ، وكانت السفن الشاحنة العابرة ، و الرياح ، والموج تعكر صفو الماء ، وتجعله عكراً جداً . فلو أن دراسة أجريت عن هذه العكارات المختلفة في الموضع والعمق ، حيث كان يجب إنشاء المأخذ ، لكان يجب إقامة حوض ترسيب ، وأي حجم وتصميم ملائمين ، وبذلك كان يمكن تفادي هذه الصعوبات .

تستعمل عبارة " ساكنة " ، لوصف مياه البحيرات والبرك والسدود , ولكنها عبارة نسبية فقط . أي أن هذه الأجرام المائية هي هادئة نسبياً عند مقارنتها بالتيارات الدافقة ، ولكن تأثيرات الريح والموج والتبدلات في درجات الحرارة ، تُحدث حركات في الماء ، حتى لو كان الصبيب والدفق قليلين ، بالمقارنة مع حجم الجرم المائي ، بحيث يمكن عملياً إهمال هذه التأثيرات . تميل الريح عادة

إلى دفع طبقات الماء العليا في الاتجاه الذي تنفخ فيه . وتكون الحركة أكثر شدة عند السطح ، وتخف نزولاً وصولاً إلى مستوى تصبح هذه الحركة عنده صفراً . وتحت هذا المستوى ، قد تعود المياه إلى طبقات ، لتجري في الاتجاه المعاكس ، على نحو بطيء تحت هذه الطبقة ذات السرعة صفراً ، ثم تزداد سرعة في الطبقات التحتية المتعاقبة ، حتى تصل حداً أقصى ، ثم تتناقص من جديد ، حتى تصل إلى طبقة ، حركتها صفر عملياً . إن شكل الخط الشاطئ ، وتأثير الجزر في الحماية ، قد يكوّنان تيارات واضحة ، بحيث يتحول كثير من المياه العائدة على مجرى آخر . والرياح أيضاً تكوّن موجاً ذا تأثير ماخض ، يميل إلى تعكير (أو بالتعبير الدارج" إغضاب rile ") المياه على نحو سيئ وخصوصاً حيث تكون معينة الأجرام المائية الضحلة . ولذلك ، من الشائع أن يصبح كثير من ماء البحيرات والبرك والسدود ، الذي كان صافياً ، عكراً جداً أثناء هبوب الرياح أو العاصفة، وبعد هما .

والمطر الشديد أيضاً ، قد يرفع العكارة في مياه البحيرات والبرك والسدود إلى حد كبير ، وخصوصاً إذا كانت هذه الأجرام صغيرة . وقد يعزى هذا إلى الأوساخ والطين ، وغير هما من المواد ، التي تنجرف من الضفاف ، أو من الروافد المتضخمة بفعل المطر الشديد ، والتي تحمل أحمالاً من العكارة ثقيلة جداً . ومن الواضح أن توضّع مآخذ قريباً من هذه الروافد ، قد يزيد ، إلى حد كبير ، حمل العكارة في رافد المصنع . وكثيراً أيضاً ما تتوضّع مأخذ المصانع قريباً جداً من مخارج المجاري ، بحيث قد يحدث التلوث من هذا المصدر في ظروف معينة ، بتأثير الريح والتيارات . كما قد تؤثر التبدلات في درجات الحرارة في عكارة الماء فقد لوحظ أكبر تأثير عندما كان الماء ذو كثافة منتظمة ، لأن هذه تسمح بدوران عمودي . وفي ظل ظروف كهذه ، فان تأثير الريح والموج قد يفاقم بدرجة كبيرة التقاط العكارة من الرواسب السفلية .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

في الأجرام المائية ، التي تقل عمقاً عن 25 قدماً ، قد يحدث دوران عمودي في جميع الفصول ، إلا عندما يكون سطح الماء متجمداً . وفي الأجرام الأعمق ، يحدث الدوران العمودي عادةً عندما يكون الماء في أعلى كثافة له ، أو قريباً منها ، تلك التي يكون عليها بدرجة 39 ف ، ويكون تأثير العكارة في بعض البحيرات والبرك والسدود مزعجاً ، خصوصاً أثناء فترتي الانقلابين الربيعي والخريفي . وفي الشتاء حيث تواجه بعض المناطق درجات حرارة التجمد يكون الماء في القاع راكداً عند درجة الحرارة الأعلى . وفي الربيع بعد ذوب الجليد تزداد الطبقات السطحية كثافةً ، لكونها أصبحت دافئة ، وهكذا تغوص ، حتى إذا أصبحت درجة الحرارة بحدود 39.2 ف ، أصبح كل الماء بكثافة منتظمة ، فيحدث الدوران العمودي . وبعدئذٍ ، وعندما تسخن الطبقات العلية إلى ما فوق هذه النقطة ، تصبح أخفّ ، و يميل الجرم المائي إلى التراصف في طبقات ، و تركد الطبقات القاعية والتحتانية عند نقطة الكثافة القصوى تقريباً . وفي الخريف تصبح الطبقات العليا أثقل ، عند ما تبرد ، حتى تصل كامل المياه إلى 39.2 ف تقريباً ، وعندئذ قد يتجدد الدوران العمودي . ومع مزيد من التبريد تصبح الطبقات العليا أخف ، وتبدأ فترة الركود الشتوي . وفي كثير من الأجرام المائية ، تكون زيادة العكارة في هذه الفترات مخيفة وقد تستمر على مدى عدة أسابيع ، وخصوصاً أثناء الانقلاب الخريفي .

ملاحظة : قام بعضهم بجدولة فترات الدوران ، وفقاً لأنماط ثلاثة من البحيرات (القطبية ، والمعتدلة ، والمدارية) . والبحيرات القطبية في هذا التصنيف هي البحيرات التي لا ترتفع فيها درجة الحرارة السطحية إلى ما فوق درجة حرارة الكثافة القصوى ، وفي البحيرات المعتدلة ، تكون أحياناً فوقها وأحياناً دونها ، وفي البحيرات المدارية لا تكون أبداً تحتها .

ولدرجة الحرارة أيضاً تأثير على نمو المتعضيات المجهرية ، و النباتات المائية ، التي قد تضفي على المورد المائي ، إضافةً لتحلل نواتجها ، ليس العكارة فقط بل أيضاً اللون والطعم والرائحة ، يحدث نمو بعض هذه الأشكال في الشتاء

، وحتى تحت الجليد ، ولكن بسرعات منقوصة جداً مقارنة مع النمو في درجات حرارة الصيف وقد أكتشف أسوء أنواع التلوث ، بالمادة الحية ، في الأجرام المائية الصغيرة ، الضحلة ، ذات القيعان الطينية .

ولذلك يبدو واضحاً ، أن البحيرات ، البرك والسدود ، كالأنهار تجد دراستها منفصلة ، فيما يتعلق باحتمال الاختلافات في عكارتها ، وليس من السليم افتراض ذلك ، لمجرد أن بضع اختبارات عشوائية ، أظهرت عكارة مهملة وأنها سوف لن تزداد أبداً . وكما ذكرنا ذلك سابقاً أيضاً ، إن موضوع المأخذ ، فيما يخص العمق ، والبعد عن الشاطئ ، وحالة القاع ، والقرب إلى الروافد ، والمجاري ، إلخ ، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار أيضاً .

العكارة في المياه الجوفية ***Turbidity in Ground Waters***

بسبب فعل الترشيح ، الذي تمارسه الطبقات الأرضية ، التي تمر من خلالها المياه الجوفية ، فإن أكثر مياه الآبار والينابيع ، تكون خالية من العكارة . على الرغم من وجود استثناءات لهذا التعميم . فمثلاً ، قد تكون مياه بعض الينابيع صافية في الجزء الأكبر من الوقت ، لكنها قد تظهر عكارات محسوسة بعد فترات المطر الشديد . وهذا هو الواقع في مناطق الحجر الجيري ، حيث يوجد عدد كبير من الشقوق والصدوع التي يعبرها الماء المحمل بمادة معلقة . ومن الواضح أن أية آبار تبزل ، كالمستودعات المائية الأرضية سوف تظهر عكارات عرضية . والآبار الضحلة أيضاً قد تظهر عكارات أحياناً ، والآبار العميقة ، باستثناء قلة منها تعطي مياهاً صافية جداً ولكن في الطبقات الرملية ، قد تحتوي مياه الآبار رملاً ناعماً تنبغي إزالته بمصائد رملية ، أو بأجهزة أخرى للترسيب .

قد تكون أيضاً مياه الآبار صافية عند سحبها ، لكنها قد تظهر عكارة أثناء الترقيد بالتماس مع الهواء . فالمياه الحاملة للحديد مثلاً ، قد تكون في البداية شفافة على نحو متألق ، لكنها قد تتعكر عند تعرضها للهواء ، وترسب بعد ذلك هيدروكسيد الحديد المصفرّ إلى البني المحمرّ . ويمكن أيضاً للمياه الحاملة

للمنغنيز أن تصبح عكرة بالتماس مع الهواء ولكن ليس بسرعة كبيرة عادة .قد ترسب المياه الكبريتية الكبريت بالتماس مع الجو ، ولكن الكبريت يكون غروانياً في حالات كثيرة ولا يظهر دائماً في وضح النهار لكنه سيظهر في غرفة معتمة ظاهرة تندال Tyndall عندما يرتطم به شعاع صغير من الضوء . وقد تظهر المياه الكبريتية أيضاً ناميات من البكتريا الكبريتية ، ويمكن للمياه الحاملة للحديد أو المنغنيز أن تطور ناميات من بكتريا الحديد أو المنغنيز ، تعرف عادة باسم كرينوذركس Crenothrix .

ينبغي لكل العينات المائية أن تحمل السؤال التالي ، وفراغات من أجل الجواب على بطاقاتها : هل الماء صاف عند سحبه ؟ نعم . لا . . . . لايمكن الحصول على هذه المعلومات عن طريق تحليل العينات المنقولة ، التي تظهر رواسب من أي من هذه المواد عند الوصول إلى المختبر . فمثلاً إن مياه بئر عميق ، تحتوي على بيكربونات الحديد ، على شكل محلول حقيقي ، قد يكون بلورياً شفافاً عند سحبه لكنه عند وصوله إلى المختبر ، قد يكون عكراً تماماً ، ولا تحتوي على حديد ذواب ، لأن كل بيكربونات الحديد الذوابة ، قد تكون تأكسدت إلى هيدروكسيد الحديد الغير ذواب أثناء الشحن ، ومالم يكن التدوين قد حدث عند الاعتيان ، فيما يخص صفاء الماء عند سحبه ، فإنه لا يمكن معرفته عن طريق التحليل ، سواء كان الحديد في الماء الخام معلقاً ، أو محلولاً .

ملاحظة : في تحاليل العينات المنقولة كثيراً ما يعبر عن محتوى الحديد كـ (حديد إجمالي) ، ويدون جزء منه كـ (حديد ذواب) . ومن الواضح ، أنه مع مياه الآبار العميقة الشفافة التي تحتوي أصلاً على كل الحديد ، على شكل محلول حقيقي كبيكربونات حديدوز ، يكون الحديد الإجمالي رقماً ذا أهمية . ولكن إذا احتوى الماء عند وصوله على حديد ذؤوب ، فقد يوحي ذلك بضرورة إجراء اختبار إضافي للتأكد من وجود حديد مستخلب (عضوي) أو عدم وجوده .

مجالات العكارة المسموحة *Turbidity Tolerances*

العكارة العالية غير مرغوبة عملياً في كل الاستعمالات ربما باستثناء استخدامه لبعض الأنماط من المكثفات السطحية . إن كمية العكارة التي تجعل ماء ما مثار جدل بشكل واضح تختلف مع طبيعة العكارة والغرض الذي يعدّ الماء من أجله , ولذلك قد تختلف التفاوتات المسموحة للعكارة . وفي مناقشة التفاوتات القياسية المسموحة من أجل نواتج العجينة والورق يمكن التسامح بـ 5 ppm في الماء المستخدم لتصنيع النواتج الممتازة ، بينما يمكن التسامح بـ 25 ppm في الماء المستخدم لتصنيع النواتج من صنف أدنى . وبصورة مماثلة قد تختلف التفاوتات المسموحة بالنسبة للصناعات الأخرى وفقاً لصنف الناتج الذي يجري تصنيفه ، وطبيعة العكارة الموجودة ونمط المعالجة الرطبة التي تمارس .

أما من أجل مياه الشرب ، فتستخدم على نطاق واسع المقاييس العيارية الموضوعة من قبل الهيئة العامة للمواصفات والمقاييس في كل دولة . هذه المقاييس التي تحد التفاوت المسموح للعكارة في مياه الشرب والطبخ .

إزالة العكارة والراسب ***Removal Of Turbidity and Sediment***

إذا كان المورد المائي يحمل محتوى عالياً من راسب مترسب بسهولة ، فقد ينصح بإزالة الجزء الأكبر منه بواسطة صهاريج ، أو أحواض ، أو خزانات ترسيب عادية . وبالمقابل إذا كان محتوى الراسب الثقيل السهل الترسب بسيطاً فإنه يمكن عادة إزالة الراسب والعكارة في وقت واحد عن طريق :

(1) التخثير والترشيح . (2) التخثير والترسيب . (3) التخثير والترسيب والترشيح .

وسنأتي على وصف هذه الطرق في الفصل 13

ثانياً – اللون والمادة العضوية ***Color and Organic Matter***

يوجد اللون على الأغلب ، في المياه السطحية مع ذلك قد تحتوي بعض مياه الآبار الضحلة ، وقلة من الينابيع ، وأحياناً مياه الآبار العميقة على مقادير ملحوظة من اللون . ولو أن مياه الآبار العميقة تكون عادة عديمة اللون . تتراوح

الألوان ، التي تلاحظ عادة في المياه ، من اللون البني الفاتح جداً ، مررواً باللون البني المصفرّ ، وانتهاء بالبني الداكن . وفي تحديد لون الماء ، فإن اللون الحقيقي هو المهم ، وليس اللون الظاهر . ويعبر عنه كوحدة اللون القياسية التي يعرّفها كتاب جمعية الصحة العامة الأمريكية ، حول الطرق القياسية لتحليل الماء كما يلي :

اللون أو اللون الحقيقي للماء ، يجب اعتباره على أنه اللون الناشئ فقط عن مواد على شكل محلول ، أي أنه لون الماء بعد إزالة المادة المعلقة منه .

والتحديد الدقيق للّون في الماء ، الذي يحتوي على مادة في مزيج معلق غير ممكن فإزالة المادة المعلقة ، بواسطة الطرد المركزي ، قبل إجراء مراقبة اللون ، تعطي نتائج أفضل . لا ينبغي استخدام مرشّحة لأن المرشّحات تمارس تأثيراً ملحوظاً في إزالة اللون .

يجب اعتبار طريقة البلاتين . الكوبالت لقياس اللون كطريقة قياسية ، وستكون وحدة اللون هي تلك المنتجة عن طريق 1 ملغ من البلاتين في اللتر .

ملاحظة : تحضر المقاييس العيارية للّون عادة بواسطة محاليل مخففة مناسبة من المحلول القياسي الأم ، الذي بفضل إعداده وفقاً للمرجع المقتبس أعلاه ، وكما يلي : يحل 1,245غ من كلورو بلاتينات البوتاسيوم $K_2 PTCl_6$ ، التي تحتوي على 0,5غ من البلاتين ، و1 غ من الكلوريد الكوبالتي المتبلور $Co Cl_2 . 6H_2O$ ، الذي يحتوي على حوالي 0,248غ من الكوبالت في الماء مع 100ملغ من حمض كلور الماء المركز ، ويخفف إلى 1ل بماء مقطر . يحمل هذا المحلول لون 500 حمض كلور الماء .

بما أن لون الموارد المائية الطبيعية عضوي في طبيعته ، ويتعذر في حالات كثيرة ، عن طريق الحديد أو المنغنيز العضوي أو الغرواني ، فمن الواضح أن هذه المعايير الكيفية للّون اللاعضوي ، تقيس فقط العمق النسبي للون الماء ، ولا تقيس الكتلة الحقيقية لعامل اللون الموجود . وفي الواقع ، لا نعرف إلا القليل عن تركيب مادة التلوين ، باستثناء أنها ربما تكون مزيجاً مركباً من عدد من المركبات العضوية ، بشكل غرواني ، وان عوامل التلوين هذه مشحونة عادة على نحو إلكتروستاتي ، كما نلاحظ في الاقتباس التالي حول هذا الموضوع :

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

(إن جزءاً كبيراً من اللون في الماء ، يوجد على شكل مزائج معلقة غراوانية لجزئيات مجهرية فائقة الصغر . وقد ينجم بعض منه عن مستحلبات غراوانية وربما يعزى جزء بسيط منه إلى مادة غير غراوانية ، وأحماض عضوية وأملاح متعادلة على شكل محلول .

إن المادة الغروانية سواء كانت شبه معلقة أو شبه مستحلبة ، تحمل شحنة إلكتروستاتيكية . وقد تكون هذه الشحنة إيجابية أو سلبية اعتماداً على خصوصية الماء ومصدره ، وهي مختلفة في مختلف الموارد المائية . يعزى اللون في الماء عادة إلى مادة غراوانية مشحونة سلبياً . وبما أن هذه الجزئيات تحمل شحنة كهربائية ، وتكون في مزيج غراواني معلق ، فإنها تخضع لقوانين الهجرة الكهربائية Cataphoresis ، عند إرسال تيار كهربائي عبر ماء ملون تجتذب الجزئيات إلى قطب الإشارة المعاكسة من الشحنة التي تحملها . فتفرّغ ، وتدمج ، وترسّب مع نقص آخر في لون الماء .

وفيما يتعلق بعمق اللون الملحوظ في الماء ، فإن الألوان دون 10 ، لا تلاحظ عادة في كأس مليئة ، ولكن يمكن كشفها بسهولة ، عن طريق مقارنة أنبوب ماء **نيسلر** مع معايير اللون . تمكن ملاحظة الألوان فوق 20 في كأس مليئة والماء فوق هذا الرقم يعتبر غامقاً ، وبما أن مادة التلوين مستمدة من التحليل النباتي ، فإن معظم المياه الملونة بعمق ، تنشأ في مناطق مستنقعيه وأكثر هذه المياه منخفضة العكارة عادة لكن لا يمكن التعويل على هذا كقاعدة .

ومن المفاهيم الشائعة خطأ هو أن كل المياه الملونة بعمق تحمل بشكل ثابت محتوى عالياً من الحديد . ولكن هذا ليس هو الواقع , ولا يبدو أن لمحتوى الحديد علاقة بعمق اللون .

وهناك مفهوم آخر خاطئ يتعلق باللون ، هو أن كمية الأكسجين المستهلكة ، تتناسب تقريباً مع مقدار اللون الموجود ولكن أيضاً لا علاقة مثبتة بين أرقام اللون وأرقام الأكسجين المستهلك .

تفاوتات اللون المسموحة *Color Tolerances*

إن المياه الملونة بعمق ، غير مرغوبة بالنسبة لأكثر أعمال المعالجة ، وهي غير مرغوبة عادة في مياه تغذية المراجل ، كما أنها غير مرغوبة عادة من وجهة نظر جمالية ، لغرض عام أو لأغراض الشرب .

ملاحظة : فيما يتعلق برغبة شرب الماء الملون ، فقد كان قباطنة المراكب المبحرة ، اعتادوا الإبحار بعيداً باتجاه عالية النهر ، لتعبئة براميلهم بماء مستنقعات الأرز الملونة بعمق ، لأنها حسب ادعائهم ، تبقى في حالة جيدة خلال الرحلات الطويلة . وربما كان القباطنة القدامى لمراكب الإبحار على صواب ، لأن المواضع القريبة من عالية النهر ، يحتمل أن لا تكون ملوثة كالمواضع التي هي قريبة من أسفله ، ومن المعروف تماماً أن المياه الملونة بعمق ، تحمل عادة محتوى بسيطاً من المتعضيات المجهرية وذلك بسبب تأثير اللون الذي يحجب أشعة الشمس .

تختلف تفاوتات اللون المسموحة ، حسب مختلف أنواع المياه ، وحسب تنوع الاستخدامات . وتكون هذه التفاوتات بسيطة بشكل عام . وتنصح الجمعية التقنية لصناعة العجينة والورق ، أن يكون الحد 5 فقط لإنتاج عجينة وورق من النوع الممتاز , و 15 لتصنيع إنتاج أدنى جودة , و 20 بالنسبة لمياه الشرب (قشرة كوبالت قياسية) .

إزالة اللون والمادة العضوية

Removal Of Color and Organic Matter

إن المادة العضوية المعروفة الذوابة الموجودة في الماء ، هي مزيج من مواد، يفترض أن يكون بعضها ذو لون غامق وبعضه الآخر ذو لون خفيف أو عديم اللون من الناحية العلمية . فلا المركب المكون من هذه المواد ولا حتى الكميات الموجودة منها تظهر في التحليل . يمكن تحديد اللون بالمقابلة مع مقياس كيفي لكن هذا الإجراء لا يبين كمية المادة العضوية التي تحدث هذا اللون . واختبارات الأكسجين المستهلك مهمة في الدلالة على وجود أو عدم وجود كميات زائدة من المادة العضوية لكنها لا تقبل التحويل إلى كميات محددة من المادة العضوية فهي مجرد قياس لكمية برمنغنات البوتاسيوم (التي يعبر عنها عادة

بكمية الأكسجين المكافئة لأكسدتها التي استهلكت بواسطة حجم ما من الماء، في زمن ثابت ودرجة حرارة ثابتة) .

الفاقد عند الاشتعال غير جدير بالاهتمام وكثيراً ما تقود إلى استنتاجات منافية للعقل ، وذلك فيما يتعلق بالكمية الموجودة من المادة العضوية . إن الأسباب الرئيسية للخطأ غير واضحة فكميات الماء المتغيرة من الأملاح المسترطبة ، وثاني أكسيد الكربون من الكربونات الأرضية القلوية ، مُتضَمنَّة في رقم الفاقد عند الاشتعال وتُؤَوَّل خطأ كمادة عضوية ولكن هذا العجز عن إجراء قياس دقيق لكمية المادة العضوية الموجودة أو الافتقار إلى معرفة التركيب الكيميائي لكل منها ، ولكل مركب عضوي معقد موجود لا يشكل عملياً مسألة مهمة . ولكن المهم هو كيفية إزالة هذا المزيج المركب أو تحويله إلى الحدود المسموح بها ، كما ينبغي أن تكون طريقة المعالجة ومعداتها مرنة بما يكفي للتعامل مع مختلف الحالات التي قد تواجه في مورد مائي معين ، قد يكون قيد المعالجة .

وبصورة عامة تتم إزالة اللون والمادة العضوية ، أو تخفيفها عن طريق التخثر ، والترسيب ، والترشيح . ومادة التخثر الأوسع انتشاراً في الاستعمال هي كبريتات الألومنيوم . وتستخدم أيضاً مواد التخثر الحديدية ، وكبريتات الحديد ، وكبريتات الحديدي . وينجز التخثر على أفضل وجه ، عند قيمة الـ PH الأكثر إيجابية ، والتي ينبغي تحديدها عن طريق التجربة: فمع كبريتات الألومنيوم ، تتراوح الدرجة المثلى من حوالي 5,5 – 6,8 ، بالنسبة لمعظم موارد الماء ، ولكن هذه المادة المخثرة استخدمت في قليل من الحالات ، عند قيمة الـ PH تقل عن 5 ومع موارد مائية تحمل محتويات معدنية عالية تقريباً وبقيمة لـ PH تصل إلى 7,5 . وتتراوح هذه الدرجة مع مخثرات الحديد من 3,5–5,5 وكانت فعالة بالنسبة لموارد الماء بشدة . ومخثرات الحديد تترسب أيضاً بصورة جيدة عند قيم الـ PH تزيد عن 9 ، ولكنها تميل عادة بالقيمة العليا إلى إبقاء اللون على شكل محلول .

وإضافة الطين إذا لم يكن مطحوناً على نحو ناعم جداً ، تفيد بشكل خاص في تخثر المياه الملونة ذات العكارة الخفيفة ، مما يوسع مدى الـ PH الذي يحدث عند التخثر الجيد . وكثيراً ما تفيد السيليكا المنشطّة كعامل مساعد للتخثير في معالجة المياه الملونة . ويحتل الرّج المنظم مكانة هامة في تأمين تشكّل كتلة جيدة متلبدة . والترسيب مفيد أيضاً فهو يخفف بصورة واضحة الحمل على أجهزة الترشيح ولكن ترسيب المياه المتخثرة سوف لن يكون كافياً لإزالة اللون على نحو جيد ، إذا لم تعقبه عملية الترشيح .

والمعالجة الفائقة بالكلور ذات أهمية في تبديد اللون في بعض الموارد المائية ، لكنها ذات تأثير ضعيف (غالباً دون 20 %) على الألوان في موارد مائية أخرى ولا يمكن إلا بالتجربة معرفة ما إذا كانت هذه المعالجة ذات قيمة أم لا ، وإذا لم يتم التوصل إلى التأثير المطلوب عند تقدير الجرعة إلى النقطة الحرجة break- point فلا فائدة ترجى من زيادة الجرعة إلى أكثر من ذلك . يمتص الكربون المنشط بعض الألوان ، ولكن قدرته الامتزازية بالنسبة للألوان الأخرى ، غير مؤكدة ، فيبقى استخدامه مقتصراً كلياً تقريباً على إزالة الطعم والرائحة . لقد قدمت برمنجنات البوتاسيوم مساعدة استثنائية في إزالة الألوان من مياه بعض المستنقعات ذات الألوان الشديدة . انظر الفصل 13 من أجل إزالة اللون والمادة العضوية .

ثالثاً . الطعوم والروائح ***Tastes and Odors***

إذا استثنينا الأشخاص ، الذين تكون حاسة الشم عندهم عاجزة ، أو غير موجودة ، فإن الطعوم والروائح تكون معقدة جداً . ويقال طبعاً أن هناك أربعة طعوم أساسية هي : الحامض ، والحلو ، والمرّ , والمالح ، لكن بما أن البراعم الذوقية ، والأعضاء الشمية تعمل مع بعضها بانسجام ، فإن المياه الكبريتية مثلاً، تجعلنا نحس على نحو واضح بطعم كريه عندما تقوم أحاسيسنا في الواقع بتسجيل

رائحتها فقط . ومن وجهة نظر المشاهدات القائمة على القياس فإنه يجب إعطاء الأولوية لحسابات الرائحة على حسابات الطعم إذ يمكن فصل الرائحة من الماء عن طريق رجّه عندما يبرد في حيِّزٍ هوائي محصور ، أو عن طريق تسخينه في دورق مغلق هذا وقد صمم جهاز خاص للتنشق يزيد من حساسية الذوق بدرجة هامة ونضيف أنه يبدو من الأسلم جداً أن نشم مادة على أن نتذوقها .

تصنف الروائح حسب طبيعتها وشدتها والعبارات التي تستخدم في ذلك هي عبارات وصفية ، مثل الروائح العطرية , وروائح الخيار ، وروائح إبرة الراعي ، وروائح البنفسج ، وروائح الكلور ، والروائح السمكية ، والروائح الخنزيرية ، والروائح الترابية ، والروائح العشبية ، والروائح الفطرية ، والروائح العفنة ، والروائح النباتية ، الخ ، وهناك حوالي عشرين أو أكثر من هذه التصنيفات . وتوصف شدة الروائح غالباً على أنها : ضعيفة جداً أو ضعيفة أو مميزة أو واضحة أو قوية جداً وتوصف أيضاً بالأرقام مثل : 1 ،2 ،3 ،4 ،5 الخ ، وذلك فيما يتصل بعدد التخفيفات التي أجريت ، حتى أصبحت الرائحة بالكاد محسوسة (وهو ما يعرف بعتبة الرائحة Odor Threshold) . وتشكل تقديرات الروائح بالنسبة للملاحظ الخبير ، أهمية كبيرة في التعرف على سبب التلوث ، ولكن الأنوف ليست متساوية الحساسية ، وبالتالي قد يقوم ملاحظون مختلفون بتفسير نفس الرائحة على نحو مختلف . ولذلك قد تختلف التقادير الصادرة عن عدة مراقبين فيما يخص تصنيف الرائحة وشدتها في عينة ما من الماء . ولكن هذا لا يعني أبداً أن اختبارات الرائحة ، هي اختبارات عديمة الأهمية ، لأنها في الواقع مهمة جداً ، ولكنه يعني أنه يجب السماح بقدر من التفاوت في تفسير التقارير ، الصادرة عن مراقبين مختلفين .

من الناحية العلمية إن جميع الروائح في الموارد الطبيعية للماء باستثناء كبريت الهيدروجين ، هي ذات طبيعة عضوية . وحتى الروائح والطعوم ، التي يمكن الإحساس بوجودها في كثير من المياه المكلورة ، قلما تعزى إلى الكلور ، بل

تعزى إلى مركبات متشكلة بتأثير الكلور على المادة العضوية الموجودة في الماء وتبلغ هذه المركبات من الشدة درجة يمكن فيها تمييزها ، حتى لو لم تصل جزءاً واحداً من بليون جزء إن هذه الطعوم والروائح العضوية تكون عادة محصورة في المياه السطحية وتكون غائبة أو ضعيفة جداً في مياه الآبار العميقة. مع ذلك فإن بعضاً من مياه الآبار العميقة يحتوي على كبريت الهيدروجين (كما رأينا في الفصل الثالث) . ويحمل هذا الكبريت رائحة شديدة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد ، ويحمل بعضها الآخر (الفصل الثاني) طعماً ، يوصف على نحو متميز ، بالطعم الحبري ، أو القابض ، أو المعدني ويعزى عادة إلى محتوى الحديد فيها . وقد تحمل المياه الحامضية أيضاً (الفصل الثاني) ما يكفي من الحمض المعدني ، ليضفي عليها طعماً مميزاً حامضاً وقابضاً .

لا ريب في أن الروائح والطعوم الكريهة تجعل الماء غير مرغوب فيه بالنسبة لكثير من العمليات الصناعية . ومن الواضح تماماً أن هذه الروائح والطعوم لا يمكن تحملها في المياه التي تستخدم في الأشربة والمنتجات الغذائية ، ولكن الروائح مرفوضة ليس فقط في هذه الصناعات وحدها ، لأن كثيراً من المواد التي تعالج رطبة ، كمواد العجينة والورق ، والنسيج ، الخ ، تمتص الروائح بالنسبة لمختلف الصناعات ، لا توجد جداول تسجل المجالات المسموح بها في الرائحة ، ولكن ممارسة شيء من الفطرة السليمة ينبغي أن تثبت كفايتها للدلالة على ما هو مرغوب ، وعلى ما هو غير مرغوب فيه بالنسبة للاستخدامات النهائية الخاصة وفي هذا السياق لا بد لنا من أن ندرك أيضاً ، أنه ليست شدة المركبات ذات الرائحة فقط ، بل طبيعتها أيضاً في مياه سطحية ما ، قد تخضع لاختلافات واسعة ، فتتطور أحياناً بسرعة مخيفة ، وذلك ينبغي اتخاذ الإجراءات لمعالجتها .

إزالة الطعوم والروائح Removal Of Tastes and Odors

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

لقد سبقت ، في الفصلين الثاني والثالث ، دراسة إزالة الطعوم أو الروائح اللاعضوية ، الناجمة عن كبريت الهيدروجين أو الحديد . أما الطعوم والروائح العضوية فتمكن إزالتها بواسطة الكربون المنشط ، أو التهوية ، أو بالتهوية متبوعة بالكربون المنشط . ويمكن استخدام الكربون المنشط على شكل مسحوق في أحواض التخثير أو الترسيب ، أو على شكل حبيبيّ في أجهزة الترشيح وسوف نأتي على دراسة هاتين الطريقتين في الفصل 13 . والتهوية (الفصل 10) ذات أهمية في كثير من الحالات لكنها قد تحتاج إلى متابعة المعالجة بالكربون المنشط . قد تعمل المعالجة الجزئية بالكلور على تشديد بعض الروائح ، في حين قد تبددها المعالجة بالكلور عند النقطة الحرجة break -point وفيما يخص المياه السطحية ، التي تحتاج إلى المعالجة ، أو المعالجة الفائقة بالكلور ، كثيراً ما ينصح بمعالجتها أولاً بالكلور ، ثم بالكربون المنشط وتلي ذلك في بعض الحالات معالجة تالية بالكلور على شكل جرعات قليلة جداً.

المتعضيات المجهرية *Microorganisms*

المتعضيات المجهرية شائعة في المياه السطحية ، لكنها تكون غائبة أو موجودة بكميات بسيطة في مياه الآبار العميقة . وقد يحدث تلوث مياه الآبار العميقة بواسطة المياه السطحية التي تتسرب نزولاً حول الغلاف ، وفي مناطق الحجر الجيري خصوصاً ، قد تؤمن الشقوق ممرات سالكة بالنسبة للتلوث .والآبار الضحلة ،وبعض الينابيع ، والمياه المتسربة من دهاليز الترشيح أيضاً ،قد تحتوي على مقادير محسوسة من المتعضيات المجهرية ، ومع المياه التي تحمل الحديد أو المنغنيز ، قد تصبح بكتريا الحديد أو المنغنيز التي تتكتل على نحو شائع بشكل كرينوذركس Crenothrix مزعجة جداً . وقد تحمل مياه الآبار العميقة أيضاً متعضيات مجهرية تتطور في هذه المياه بعد سحبها من الآبار وهكذا كثيراً ما تطور في مياه الآبار العميقة التي سبق ضخها إلى حوض أو صهريج ، أو

خزان مكشوف نماءات وافرة من الطحالب ، أو قد تحمل مياه الآبار العميقة الكبريتية نماءات متخثرة من بكتيريا الكبريت ، تنمو فوق أطباق جهاز التهوية ، أو قد تتطور في الخطوط الرئيسية للماء بكتريا ، تحول الكبريتات إلى كبريت .

وفي كثير من الحالات ، لم تتضح مباشرة نقطة دخول هذه المتعضيات ، وخاصة في حالة بعض المياه الساكنة (البحار الأحفورية Fossil Seas) ، مما قاد إلى الاعتقاد بأن البكتريا ، في حالة ما خارقة من الحياة المعلقة قد تدبرت أمر بقائها على مدى ملايين السنوات على عمق آلاف الأقدام تحت سطح الأرض ، وأنها انبعثت إلى الحياة عند إخراجها إلى السطح ، ولكنه تفسير غير محتمل ويمكن في حالة آنية التخزين المكشوفة توضح وجود هذه النماءات في مياه الآبار العميقة بنقل المتعضيات المجهرية ، أو أبواغها بواسطة الهواء أو حتى بواسطة العصافير أحياناً. وفي حالات ضخ الماء مباشرة من بئر عميقة إلى الخطوط الرئيسية ، قد يحدث التلوث كما ذكرنا ، عن طريق تسرب الماء من السطح أو من الشقوق في الطبيعة العليا نزولاً حول الغلاف .

وفي المياه السطحية ، تنتشر النماءات العضوية على نطاق واسع وفي أضخم تشكيلة . فهناك حرفياً آلاف كثيرة من هذه الأنواع . وتمكن رؤية بعضها بالعين المجردة ، ويرى بعضها الآخر بشيء من التكبير البسيط ، بينما تتطلب رؤية بعض الأنواع إلى مجهر عالي القدرة . بعضها نباتات ، وبعضها الآخر حيوانات ، وما تزال الحالة الصحيحة لبعضها غير معروفة حتى الآن . وتبدو كثير من النباتات كالحيوانات ، كما تبدو بالمقابل كثير من الحيوانات شبيهة بالنباتات .

ملاحظة : خضعت تعاريف تكوين الخط الفاصل بين النباتات والحيوانات إلى تعديلات كثيرة فهي قد قامت أصلاً على أساس الحركية إنما اكتشف أن هناك نباتات كثيرة ، تمتلك قدرة الانتقال التي تفتقر إليها بعض الحيوانات . واستعمل أيضاً وجود الكلورفيل (اليخضور) كخاصة تميز النبات ، ولكن توجد هناك نباتات لا تحتوي على الكلورفيل وربما يشكل الغذاء خطأً أفضل للتقسيم ، أعني أن النباتات تتغذى بمواد غير عضوية ، مثل ثاني أكسيد الكربون ، والنترات ، والفوسفات وعدد من

الأملاح الأخرى الخ ، أما الحيوانات فتتغذى بالمواد العضوية من حيوانات أخرى إلى نباتات ، ونواتجها العضوية . كما تحمل الحيوانات تجويفاً شدقياً ، وجهاز هضم يمكن أن يزدهر على المواد الجامدة ، كمادة البروتين ، النشويات الخ . ويطرح مادة النتروجين ، أما النباتات فتتغذى بالمحاليل عن طريق وسائل ماصة . ويصعب في حالات الحياة الأدنى وضع تعريف يشمل جميع الحالات .

تختلف هذه المتعضيات المجهرية إلى حد كبير في اللون ، والطباع ، إضافة إلى الحجم . إن عدد الأشكال والهيئات ضخم جداً ففي تصنيف واحد فقط قدر أن هناك أكثر من عشرة آلاف نوعاً من الدياتومات Diatomacea (نباتات مجهرية وحيدة الخلية) ، ولكل منها شكل أو نموذج أو تصميم مميز من قشور السيليكا . والألوان مختلفة أيضاً ومنها : الخضراء ، والصفراء ، والحمراء ، والقرنفلية ، والبنية ، والخضراء المزرقّة ، الخ ، وهي موجود في كل الظلال ، وبعض الأشكال شفاف تماماً عديم اللون . يعيش بعضها فقط في أشعة الشمس بينما يزدهر بعض آخر في الظلام ، ويحتاج بعضها (الهوائي aerobic) في وجوده إلى هواء منحل ، أما البعض الآخر (اللاهوائي anaerobic) فيعيش بدونه . وقد تكون متحركة أو غير متحركة ، وتملك المتحركة منها طرقاً عديدة للانتقال كالدحرجة ، أو الدبيب ، أو الوثب ، أو التجذيف ، أو التخويض ، أو العوم بمختلف أنماط الزوائد . وكما ذكرنا تحت عنوان (العكارة والرواسب) فإن كثيراً من هذه المتعضيات المجهرية تنمو ، وإن يكن بمعدلات ناقصة ، في الماء البارد ، وحتى الجليد ومن الممتع أن نلاحظ من ناحية أخرى ، وجود بعض الطحالب الخضراء المزرقّة ، التي يمكنها العيش في الماء الحار .

تبدو هذه المتعضيات المجهرية فاتنة وساحرة تحت المجهر ، لكنها لا تبدو كذلك في المورد المائي الصناعي ، لأنها تسبب مع منتجاتها عدداً من المصاعب . فكثير منها يشكل طبقات في شبكة الأنابيب ، فتنقص بذلك من قدرتها على النقل وكثيراً ما تتفكك تلك الطبقات على شكل كتل كبيرة ،قد تسدّ كلياً سبيل الدفق من خلال الصمامات أو المضخات ، أو الحنفيات ، أو الأجزاء الأخرى في جهاز توزيع الماء ومعالجته . ففي المرشحات وأجهزة تيسير الماء التي تستخدم

وسطاً حبيباً ، قد تتعشق الحبيبات مع بعضها بتأثير النماءات العضوية ، الأمر الذي يضعف تشغيلها ، عن طريق خفض سرعات الجريان ، وكثيراً ما تؤدي إلى تخديد الأسرّة وقلبها .

كثيراً ما تسبب المتعضيات المجهرية نصول لون المواد التي تعالج رطبة ، أو صبغها . وفي بعض الأحيان قد تصبح الطعوم والروائح الكريهة الناجمة عن المتعضيات المجهرية الحية ، أو عن نواتجها المتحللة شديدة الإزعاج وقد تسبب هذه المتعضيات تحلل السلولوز ، أو المواد العضوية الأخرى ، من تلك التي تتكتل مع بعضها مثل (الفطور والمواد الغروية) كثيراً ما تكون طريقة التنظيف المنزلي في المصانع الكبيرة ، لإزالة هذه النماءات من الجهاز مزعجة جداً لأن ما لم ينجز التنظيف بشكل كامل ، فإن عودة التلوث سوف تحدث على الأغلب . وفي هذا السياق قد تكون من الأفضل أن نشير إلى أن هذه النماءات لا ينبغي أن تكون موجودة بالضرورة في الماء الخام ، و(نثر البذور Seeding) من الهواء أو من مصادر أخرى قد يحدث في الأحواض أو في الآنية المكشوفة.

تشكل النماءات العضوية في مياه التبريد معضلة ، تحتاج إلى معالجة ويكون بعضها متعشقاً ، ليفي المظهر ، بينما يكون البعض الآخر ثخيناً حتى ليبدو أحياناً وكأنه يشبه قشرة لا عضوية . تسبب المياه السطحية عادة الإزعاج الأكبر وخصوصاً أثناء شهور الصيف الحارة ، ولكن مياه الآبار التي تحتوي على الحديد أو المنغنيز ، التي تؤخذ عادة من الآبار الضحلة أو من دهاليز الترشيح ، كثيراً ما تسبب إزعاجاً مفرطاً ونماءات متخثرة من بكتريا الحديد أو المنغنيز (كرينوذركس هي العبارة الشائعة والمستخدمة إجمالاً لوصفها) في شبكة الأنابيب .

كثيراً ما تحمل المياه الكبريتية نماءات شبيهة بالخيوط تظهر على أطباق جهاز التهوية ، وفي الآبار العميقة وتحتوي هذه المياه على كبريت طبيعي ، غالباً ما يكون غرواني الشكل ، ومجزّأ ناعماً . قد يكون هذا الكبريت ناجماً عن تأكسد كبريت الهيدروجين إلى ماء وكبريت بواسطة الأكسجين المنحل ، ولكن بما أن هذا

التفاعل بطيء تقريباً يظن في أن البكتريا تقوم بتسريع العملية . وفي الاتجاه المعاكس ، فإن البكتريا محولة الكبريتات التي تحول الكبريتات إلى كبريتيد ، هي غالباً مسؤولة عن إنتاج رشات من الماء الأسود ، وكثيراً ما يتم الحصول على هذه الرشات من النهايات المسدودة في الخطوط الرئيسية أما اللون الأسود فيعزى إلى كبريت الحديدي

يتضح مما سبق أن التفاوتات المسموحة بالنسبة للمتعضيات المجهرية سوف تختلف ، حسب الأنماط والأعداد الموجودة وحسب الاستخدامات النهائية للماء في مختلف الصناعات . فالمياه التي ستستخدم لأغراض الشرب ، يجب أن تتوافق طبعاً المواصفات القياسية لمياه الشرب . وحيثما تستخدم الموارد الأخرى في المصنع نفسه ، يجب وبشكل جاد تفادي الوصلات المتصالبة ، كما يجب إبعاد جميع أخطاء السحب الراجع . ومن الواضح أيضاً أن الماء الذي سيستخدم في الأشربة والنواتج الغذائية يجب أن يتفق مع أدق المعايير القياسية وحتى الأمكنة التي يصار فيها تعقيم النواتج في حاويات مختومة ، فإنه يعتبر من قبيل السياسة قصيرة النظر أن تسمح للماء الذي لا يكون فوق الشك ، أن يصبح على تماس مع هذه النواتج .

ملاحظة : ينبغي أن تكون شبكة الأنابيب التي تنقل مواد غذائية قابلة للفساد ، كالحليب والأشربة ، الخ ، ذات تركيب خاص ، بحيث يمكن تنظيفها وفركها وتعقيمها بشكل كامل . ويجب استخدام القطع التالية ذات الأغطية المتحركة بدلاً من الأكواع ، والمثبتات الخ ، بحيث يمكن تنظيفها وتعقيمها تماماً . ومن الواضح أيضاً أنه يجب أن يكون الماء المستخدم في عمليات التنظيف معقماً .

إزالة المتعضيات المجهرية ***Removal Of Micro organisms***

يمكن بعدة وسائل إزالة نماءات المتعضيات المجهرية أو تخريبها أو منع تشكلها .فالطحالب ، والنباتات الحاوية على الكلوروفيل ، تحتاج إلى أشعة الشمس لكي تنمو لذلك الحيلولة دون تشكل هذه المتعضيات إذا أمكن ليتم اختزان الماء في خزانات مغطاة . فاستخدمت أحياناً الأطواف العائمة ، لكنها لا ينصح بها

لأنها عادة غير مرضية جداً وفي الأحواض المكشوفة استخدم أحياناً الكربون المنشط لكن من الواضح أن الكربون محدود في استخداماته . وكثيراً ما تستخدم في السدود الكبيرة المكشوفة المعالجات بجرعات مقيسة من كبريتات النحاس . ويتوجب تنظيم هذه الجرعات بحذر لتفادي قتل الأسماك . ويبين الجدول 1 . 4 الجرعات اللازمة من كبريتات النحاس ، لقتل مختلف المتعضيات . كما يبين الجدول 2 . 4 مقادير الجرعات القاتلة لمختلف أنواع الأسماك . وسيظهر التفحص لهذين الجدولين تداخلاً، وبالتالي يشير إلى ضرورة الحذر الشديد عند تقدير الجرعات ومن الواضح أن هذه المعالجة ، تنطبق فقط على السدود التي يملكها مستخدمها .

ولكن قتل النماءات العضوية وإزالتها في معظم المنشآت الصناعية ، ينجز بشكل أفضل في حوض الترسيب ، في وحدة معالجة المياه . ويتم هذا عادة بواسطة الكلور والتخثر والترسيب والترشيح , لإزالة البقايا . وحيثما يستخدم

الجدول 1 . 4 جرعات كبريتات النحاس من أجل مختلف المتعضيات

Organism	Copper Sulfate	
	(ppm)	(lb/M gal)
Diatoms		
Asterionella	0.12–0.20	1.0– 1.7
Cyclotella		
Fragilaria	0.25	2.1
Melosira	0.20	1.7
Navicula	0.07	0.6
Nitzchia	0.50	4.2
Synedra	0.36–0.50	3.0– 4.2
Stephanodiscus	0.33	2.7
Tabellaria	0.12–0.50	1.0
Chlorophyceae		
Cladophora	0.50	4.2
Closterium	0.17	1.4
Coelastrum	0.05–0.33	0.4– 2.7
Conferva	0.25	2.1
Desmidium	2.0	17.
Draparnaldia	0.33	2.7
Eudorina	10.	83.
Entomophora	0.50	4.2
Hydrodictyon	0.10	0.8
Microspora	0.40	3.3
Palmella	2.0	17.
Pandorina	10.	83.
Raphidium	1.0	8.3
Scenedesmus	1.0	8.3
Spirogyra	0.12	1.0
Staurastrom	1.5	13.
Ulothrix	0.20	1.7
Volvox	0.25	2.1
Zygnema	0.50	4.2
Cyanophyceae		
Anabaena	0.12	1.0
Aphanizomenon	0.12–0.50	1.0– 4.2
Clathrocystis	0.12–0.25	1.0– 2.1
Coclosphaerium	0.20–0.33	1.7– 2.7
Cylindrosphermum	0.12	1.0
Microcystis	0.20	1.7
Oscillaria	0.20–0.50	1.7– 4.2
Rivularia		
Protozoa		
Bursaria		
Ceratium	0.33	2.7
Chlamydomonos	0.50	4.2
Cryptomonas	0.50	4.2
Dinobryan	0.18	1.5
Euglena	0.50	4.2
Glenodinium	0.50	4.2
Mallomonas	0.50	4.2
Peridinium	0.50–2.0	4.2–17.
Synura	0.12–0.25	1.0– 2.1
Uroglena	0.05–0.20	0.4– 1.7

تابع الجدول 1 . 4 جرعات كبريتات النحاس من أجل مختلف المتعضيات

Organism	Copper Sulfate	
	(ppm)	(lb/M gal)
Crustacea		
Daphnia	2.0	17.
Schizomycetes		
Beggiatoa	5.0	42.
Cladothrix	0.20	1.7
Crenothrix	0.33–0.50	2.7– 4.2
Sphaerotilis natans	0.40	3.3
Fungus		
Leptomitus	0.40	3.3
Saprolegnia	0.18	1.5
Miscellaneous		
Chara	0.10–0.50	0.8– 4.2
Nitella, flexilis	0.10–0.18	0.8– 1.5
Potamogeton	0.30–0.80	2.5– 6.7

الكلور ، فإن المعالجة تعرف بالمعالجة المسبقة بالكلور ، وكثيراً ما تفيد في إنقاص الجرعات اللازمة من مادة التخثير ولكن في حالات كثيرة يزال جرم المادة العضوية بواسطة التخثير ، والترسيب ، والترشيح ، وقد تمارس بعد ذلك معالجة تالية بالكلور .

وأفضل طريقة لمنع تكوّن نماءات الحديد والمنغنيز (كرينوذركس) هي في إزالة هذه المعادن ، ثم المعالجة بالكلور ، أو بمختلف مبيدات الجراثيم الأخرى .

وحيثما تكون كميات الماء ، التي تجب معالجتها ، قليلة نسبياً ومحتواها من المتعضيات المجهرية والعكارة ضئيل ، فإن كثيراً ما يستغنى عن أحواض الترسيب ، ويضاف الكلور (أو هيبوكلوريت Hypo chlorite) ، ومادة تخثر في شبكة الأنابيب التي تؤدي إلى أجهزة الترشيح . وفي حالات كهذه ، وخصوصاً إذا لم تكن الحاجة للماء كبيرة جداً ، فإنه من المفيد استخدام صهريج تفاعل ضغطي ، وهو ما يعرف عادة بصهريج الترسيب الضغطي ، وذلك قبل الوصول إلى أجهزة الترشيح وفي المصانع ، حيث تستخدم طريقة الجير البارد (أو الجير . صودا)

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

لتيسير الماء ، يمكن إحداث التخثير والترسيب في المعدات المستخدمة . وإذا أنجزت المعالجة إلى المرحلة الكلية ، فقد يحدث نقص هام في محتوى البكتيريا ، ولكن ينصح عادة بالمعالجة التالية بالكلور أيضاً .

الجدول 2 . 4 تراكيز ; كبريتات النحاس القاتلة للأسماك .

نوع السمك	كبريتات النحاس	
	PPM	ليبرة / مليون غالوناً
التّروية Trout	0,14	1,2
الكارب Carb	0,30	2,5
الساقر Suckers	0,30	2,5
السلّور Catfish	0,40	3,3
الكراكي الصغير Pickerel	0,40	3,3
السمك الذهبي Goldfish	0,50	4,2
الفرخ Perch	0,75	6,2
سمكة الشمس Sunfish	1,20	10
ذئب البحر Bass	2,10	17

الفصل الخامس

تهيئة المياه الصناعية

Industrial Water Conditioning

ينبغي لموارد الماء الصناعية أن تكون :

(1) غزيرة بما يكفي تحسباً لمتطلبات الحاضر والمستقبل .

(2) متيسرة بمعدلات دفق وضغط كافيين لمواجهة المتطلبات القصوى ، وتأمين حماية ملائمة ضد الحريق .

(3) من نوعية مناسبة من أجل مختلف استخداماتها النهائية .

وعلى الرغم مما يبدو من وضوح هذه الشروط الأساسية الثلاثة فقد قيل ، على سبيل السخرية ، بأن الأمر الوحيد الذي لا يدرس أبداً ، عند اختيار مكان لإقامة مصنع ، هو المورد المائي . وإلى حد ما ، كان هذا هو الواقع في الماضي خصوصاً ، وإنما ليس بصورة حصرية إطلاقاً . فقد أقيمت المصانع حيث لا يتوفر الماء الكافي ، وافترض بسذاجة أن موارد الآبار لا تنضب ، واحتشد عدد كبير من المستهلكين في منطقة صغيرة جداً ، ووضعت المأخذ مجاورة لمخارج المجاري ، وأغلقت تأثيرات المد والجزر في الأنهار التي تصب في المحيط ، وكثيراً ما افترض أيضاً ، أن المورد الطبيعي للماء ، إذا كان صافياً ، عديم اللون ، وصالحاً للشرب ، فإنه لا يحتاج إلى معالجة ، ربما باستثناء استخدامه في المراجل طبعاً .

الوفرة *Abundance :*

عند اختيار موضع لإنشاء مصنع جديد ، سوف تظهر الكشوف ما إذا كان المكان قادراً على تأمين كمية كافية من الماء ، ومن نوعية تمكن معالجتها ، ببساطة وبشكل اقتصادي ، بقصد تكييفها لمختلف الاستخدامات . إن تأمين كمية مناسبة من الماء لمصنع قائم ، يحتاج إلى أكثر من مورده ، أو لمصنع يواجه مورداً متضائلاً ، وليس بالأمر السهل . فإذا كان المصدر بئراً ، فأن أول خطوة ،

تكون عادة بخفض مضخات البئر ، ولكن لا يمكن القيام بهذا الإجراء إلى ما لا نهاية ، وتفضل مباعدة الآبار عن بعضها ، أو الحصول على حقل جديد للآبار . أو حتى إضافة ، أو استبدالا مورد البئر بمورد سطحي . وإذا كان المورد السطحي ضئيل فصلياً ، فسيكون جمع الماء معقولاً ، أو قد يكون تطوير مورد إضافي ضرورياً .

وهناك خطوات أخرى ، ينبغي على المؤسسات الصناعية اتّباعها :

(1) توقيف التسرب ، وتبديد الماء .

(2) دراسة عمليات المصنع ، وإيجاد طرق لإعادة استخدام الماء .

(3) معالجة وإعادة استعمال أكبر قسط ممكن من الماء المهدور وبقدر الإمكان .

إن توفير الماء ، الذي يتم بهذه الطرق ، كثيراً ما يكون كبيراً على نحو يبعث على الدهشة ، وحيثما كان هناك عدد من المستخدمين الكبار ، الذين يهتمون بصيانة الماء ، فإنه يبغي البحث عن القيام بعمل منسجم من قبل الجميع ، ويكون ذلك عن طريق اجتماعات منظمة تقوم بها لجنة ، وتبادل مجاني للمعلومات .

معدلات الجريان ، والضغوط ، والتخزين :

Flow Rates , Pressures , and Storage

لجعل معدلات الجريان مفيدة ، ينبغي دائماً حسابها على أساس الحاجات القصوى ، وليس على أساس المعدلات الوسطية . ولذلك ، يجب أن تكون الحنفيات أو المضخات ، والخطوط الرئيسية ، وأجهزة التوزيع ، والصمامات ، والمثبتات كبيرة بما يكفي للتعامل مع كافة المعدلات القصوى للجريان . وينبغي أيضاً أن تكون معدات المعالجة ، على الخطوط ، الذاهبة مباشرة إلى الخدمة ، كبيرة بما يكفي لمعالجة التدفقات القصوى جميعها . ومع معدات كالمرشحات والمبادلات الأيونية ، تستخدم عادة مجموعة وحدات ، بحيث عندما تتعطل وحدة على الخط ، تقوم وحدة أو وحدات أخرى من المجموعة ، بعمل كامل الحمل ، لا

ينبغي تحميل معدات المعالجة أكثر من معدل الجريان المقدر . ولا بد من أن نضيف أن ضمانة المصنِّعين ، كما يلاحظ ، تطبق فقط في حال عدم تجاوز المعدل الأقصى للجريان .

إن صهاريج التخزين المرفوعة ، السائبة عند خط الفصل ، تتميز بأهميتها في تسوية الحاجات القصوى ، والمحافظة على ضغط متعادل تقريباً ، وتأمين الماء بالضغط للحماية ضد الحريق ، وخصوصاً في حال نقص الطاقة . وكثيراً أيضاً ما تستخدم أحواض تخزين بمستوى الأرض ، أو الآبار النظيفة لتسوية الحاجات القصوى ، وإنقاص حجم أجهزة الترشيح ، أو معدات المعالجة الأخرى ، والتي يمكن تشغيلها على مبدأ السرعة الثابتة مبدأ الإقلاع والتوقف ، وإذا كان الحوض أو البئر كبيراً بما يكفي . وحيثما تستخدم وحدات الضخ ، فمن الأفضل أن ترفق بمعدات احتياطية ، كالمضخات ذات المحرك الذي يعمل بالبنزين ، بحيث يمكنها تأمين الماء في حال نقص الطاقة .

تختلف معدلات الجريان القصوى ، على نطاق واسع ، بالنسبة لمختلف استخدامات الماء . وكلما تكون أقل من ضعفي المعدل الوسطي للجريان (المعدل الوسطي للجريان في جالون / دقيقة ، هو إجمالي جالون / يوم ، مقسماً على عدد الدقائق في يوم تشغيل) ، وقد يتجاوز أربعة أضعاف معدل الجريان الوسطي . ولذلك من الضروري تقدير الأحمال القصوى التي يجب مواجهتها ، ومن أجل ذلك نحتاج إلى المعلومات من مصانع مماثلة ، و إلى التجربة ، و إلى التحلي بشيء من الفطرة السليمة . وعند إجراء هذه التقديرات ، من الواضح أنه من الأفضل أن يكون الخطأ لاتجاه الوفرة لا لاتجاه القلّة .

النوعية Quality :

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

تعتمد نوعية المياه اللازمة على استخدامها أو استخداماتها النهائية . وبما أن التفاوتات المسموحة ، بالنسبة لمختلف الشوائب ، تختلف حسب هذه الاستخدامات ، فإن نوعية المياه اللازمة ، تختلف إلى حد كبير في حالة . فمياه البحر مثلاً ، مع المعالجة المتقطعة بالكلور ، قد تكون مرضية جداً بالنسبة لبعضٍ من أغراض التبريد ، ولكنها غير ملائمة أبداً للمراجل ، أو لاستخدامات التبريد الأخرى ، أو لأية أساليب سائلة ، كما هي حالها مع أغراض الشرب .

إذا كان الماء الخام مناسباً لبعض الاستخدامات ، فلا حاجة لمعالجة الجزء اللازم لهذه الاستخدامات . أما تلك الأجزاء اللازمة لاستخدامات أخرى ، فقد تحتاج إلى واحد من أشكال المعالجة ، كمعالجة التيسير ، بينما قد تحتاج في حالات أخرى معالجات منفصلة .

إذا كان الماء الخام غير مناسب لكافة الاستخدامات في المصانع ، كما لو كان مثلاً ، عكراً جداً ، أو ملوناً بعمق ، أو يحتوي على الحديد أو المنغنيز ، فقد تستخدم وحدة مركزية لطرح هذه الشوائب ، يعقب ذلك (أو في بعض الأحوال ، بالترافق مع) أي معالجة أو معالجات أخرى قد تكون ضرورية لتأمين ماء ، ذي نوعية مناسبة من أجل مختلف الاستخدامات .

ومن أجل استخدامات معينة ، لا بد من أن يكون الماء من نوعية عالية ، بحيث يحتاج عملياً إلى إزالة تامة لكافة الشوائب . ولكن الأكثرية العظمى من الاستخدامات لا تحتاج إلى ماء من نوعية عالية ، ولذلك سيكون القيام بإزالة كامل الشوائب ، في مثل هذه الحال ، إجراء غير ضروري ، وغير اقتصادي . وتمكن بدلاً من ذلك ، القيام عملياً بإزالة تامة فقط للشوائب الضارة ، أو تخفيفها إلى مستويات غير ضارة (التفاوتات المسموحة) ، وهذه التفاوتات ، تختلف تبعاً لمختلف الاستخدامات ، كما ذكرنا سابقاً .

الاستخدامات الصناعية للماء وعملية تهيئته

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

Industrial Water Uses and Conditioning Processes

يمكن بإيجاز ، تصنيف المياه المستخدمة في المنشآت الصناعية كما يلي :

1- مياه تغذية المراجل .

2- مياه التبريد .

3- المياه المعالجة .

4- مياه الأغراض العامة .

عندما تكون المعالجة مطلوبة لتكييف ماء ما لإحدى من هذه الاستخدامات ، فإن نمط معدات المعالجة المستخدمة يعتمد على عدد من العوامل من أبرزها : تركيب الماء الخام ، والنوعية المطلوبة لهذا الاستخدام ، مع ذلك فإن النوعية المطلوبة لماء تغذية المراجل هذا ، ليست هي بالضرورة نفس النوعية المطلوبة في ماء آخر لتغذية المراجل . ويمكن باختصار إيجاز هذه الاستخدامات الأربعة ، والطرق التي قد تتّبع لتهيئة الماء لها ، كما يلي :

ملاحظة : لتفادي الكثير من التكرار ، يفترض عملياً أن يكون الماء خالٍ من الشوائب ، كالعكارة ، أو الحديد ، أو المنغنيز ، أو كبريت الهيدروجين ، أو الطعوم والروائح ، لأنه تفضل دراسة إزالتها وتطهيرها أيضاً ، بصورة منفصلة ، بعد المختصرات الأربعة التالية .

مياه تغذية المراجل : Boiler Feed Water

في حالة مياه المراجل مثلاً ، إذا كان الماء للمراجل ، التي تعمل ضمن ضغط منخفض ، فقد تكفي عملية إزالة العسر وحده ، كما قد يحدث عن طريق تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت Zeolite) . أما المراجل التي تعمل بضغط أعلى إلى حد ما ، فقد نحتاج إلى إنقاص أجمالي الجوامد والقلوية إضافة إلى إزالة العسر ، ويمكن إنجاز ذلك بواسطة واحدة من طرق المعالجة على الساخن ، أو بطريقة تبادل الكلس البارد وكاتيونات الصوديوم على مرحلتين ، أو بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، وبعد ذلك ، بالتعادل بالصودا الكاوية ، وهو الأكثر شيوعاً ، أو بصبيب من طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم .

وبالنسبة للضغوط الأعلى الساكنة ، فقد يكون مطلوباً ، ليس فقط إزالة العسر، وإنقاص إجمالي الجوامد والقلوية ، ولكن أيضاً ، إنقاص ملحوظ لمحتوى السيليكا ، ويمكن إنجاز ذلك بعملية المرحلة الواحدة ، باستخدام نمط الدثار العكر لجهاز تيسير الماء بالطريقة الساخنة ، بالنسبة للمرحلة الأولى ، وعملية تبادل كاتيونات الصوديوم أو المعالجات بالفوسفات ، بالنسبة للمرحلة الثانية . وبعدئذ ، وبالنسبة للمراجل التي تعمل بضغطٍ عال جداً ، قد نحتاج عملياً لإزالة كامل الشوائب ، ويمكن إنجاز ذلك بطريقة إزالة المعادن بتبادل الأيونات ، أو بالتقطير . ويمكن أن نضيف أيضاً بأننا قد نحتاج إلى درجة من إزالة الهواء ، بالنسبة لكل المراجل ، وخاصة تلك التي تعمل بضغط عال جداً إلى حد تتطلب معه عملياً إزالة تامة لجميع الغازات المنحلة .

ملاحظة : انظر الفصل 8 ، حول مياه تغذية المراجل ، والفصل11 حول إزالة الهواء .

مياه التبريد Cooling Water :

وتختلف أيضاً معالجات مياه التبريد ، حسب تركيب الماء الخام ، وظروف استخدامه ، كأن :

1 . يستخدم مرة واحدة ثم يهدر .

2 . يستخدم مرة ، ثم يستخدم بعدها لأغراض أخرى .

3 . يتجدد دورانه في جهاز مكشوف (في أبراج التبريد) .

4 . يتجدد دورانه في جهاز مغلق .

بالنسبة للحالة (1) ، قد لا نحتاج مع بعض الموارد إلى معالجة ، أو قد نحتاج فقط لمعالجتها بالكلور ، أما مع أنواع أخرى ، فقد تكون المعالجة الحمضية ضرورية ، وذلك لتخفيف عسر البيكربونات .

وبالنسبة للحالة (2) ، قد يعالج الماء غالباً لجعله من نوعية ملائمة للتبريد أو استخدامات معينة تالية ، كتخفيف عسر البيكربونات بطريقة الكلس البارد وتبال كاتيونات الصوديوم على مرحلتين .

وبالنسبة للحالة (3) ، ربما نحتاج إلى المعالجة بطريقة الكلس البارد ، إضافة إلى جرعة حمضية صغيرة ،

وبالنسبة للحالة (4) ، قد نحتاج للمعالجة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو في بعض الحالات إلى نزع المعادن بطريقة ما لتبادل الأيونات.

ملاحظة : انظر الفصل 10 حول مياه التبريد .

المياه المعالجة Process Water :

تختلف نوعية المياه اللازمة لمختلف العمليات ضمن نطاق واسع . ونضيف إلى أنه يمكن أيضاً ملاحظة أن نوعية الماء المطلوبة اليوم لعملية ما ، قد تكون مختلفة تماماً عن النوعية التي كانت تستخدم على مدى سنوات كثيرة في الماضي . وكثيراً ما وجد أن تحسناً في النوعية المتمتعة بقدسية القدم (المجازة Tolerated) للماء المعالج ، لم يحسّن فقط نوعية المادة النهائية ، ولكنه يسبب توفيرا ملحوظا في تكاليف المعالجة ، والعمل ، والصيانة .

قد لا تحتاج بعض المياه طبعاً إلى معالجة ، أو ربما تحتاج فقط إلى المعالجة بالكلور لاستخدامها بطرق معينة . وقد يحتاج بعضها الآخر فقط إلى إنقاص عسر البيكربونات ، كما يمكن أن يحدث بواسطة طريقة الكلس البارد . وبالمقابل ، فإن طرقاً كثيرة جداً ، تحتاج عملياً ماء خالياً تماماً من العسر ، وهنا تستخدم عادة طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو ، في بعض الحالات ، طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

فيما يتعلق بالإزالة التامة عملياً للشوائب ، كانت هناك دائماً طرق تحتاج مياهاً من نوعية عالية ولكن حتى ظهور طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، كانت الطريقة الوحيدة المتيسرة لإنتاج مياه ذات نوعية عالية ، هي طريقة التقطير المكلفة . لذلك ، وبسبب التكاليف العالية للمياه المقطرة ، اقتصر استخدامها فقط على تلك العمليات ، التي تعتبر بالنسبة لها ضرورة مطلقة ، وحتى في هذه الحال ، كانت تستخدم بتقتير شديد . ولكن منذ اكتشاف طريقة نزع المعادن بتبادل

الأيونات ، التي تشكل تكاليف تشغيلها جزءاً بسيطاً فقط من تكاليف التقطير ، لم يطبق استخدام الماء المنزوع المعادن . فقط على تلك العمليات ، التي كانت تستخدم قبلاً الماء المقطر ، بل أيضاً على عدد كبير من العمليات الأخرى ، حيث كانت تحظر سابقاً تكاليف النوعية العالية من المياه .

مياه الأغراض العامة : General Purpose Water

يستخدم هذا التعبير لتغطية المياه المستخدمة لأغراض أخرى ، من غير المياه المستخدمة لتغذية المراجل ، والتبريد ، والمعالجات السائلة . ومن الواضح أن الماء الذي يسد حاجة ملاك المستخدمين يجب أن يكون من نوعية مجازة بكتيريولوجياً ، كما ينبغي أن يكون خالياً من الطعوم و الروائح غير المرغوبة . وبقدر ما يتعلق الأمر بمياه المختبرات ، والدّوشّات ، إلخ ، فإنها يجب أن لا تكون عسرة بإفراط . وفي معظم الحالات ، وحيث يكون التيسير مطلوباً ، فأن المورد المائي الساخن فقط هو الذي يتم تيسيره ، ويمكن إنجاز ذلك ، عن طريق عملية تبادل كاتيونات الصوديوم ، لأن الماء يجب تيسيره قبل مروره إلى المسخّنات المائية ، ولكن مع بعض الموارد العسيرة جداً يجري تيسير المورد المائي البارد أيضاً كلياً أو جزئياً . وحيثما تجري عمليات غسل الملابس في المنشأ ، يتوجب تيسير كافة الموارد المائية المستخدمة ، ساخنة وباردة ، بعملية تبادل كاتيونات الصوديوم ، والمياه الميسرة بشكل كامل ، هي أفضل لكثير من عمليات التنظيف الأخرى . أما الماء الذي يستخدم لأغراض الشطف العامة ، فقلما يحتاج إلى معالجة .

إزالة العكارة واللون ، والمعالجة بالكلور وإزالة الطعوم والروائح :
Turbidity & Color Removal, chlorination and Taste & Odor Removal

بينما تكون معظم المياه الجوفية نقية ، عديمة اللون عملياً ، فإن معظم المياه السطحية تحتوي ، على الأقل أحياناً ، على عكارة و/ أو لون . وبصورة عامة ، تتم إزالة العكارة و/ أو اللون بواسطة التخثير ، والترسيب ، والترشيح

والصبيب الشفاف البلّوري ، العديم اللون عملياً ، غير ضروري بالنسبة لكثير من مياه التبريد الصناعية ، وبعض المياه المعالجة ، إنما قد تكون مطلوباً بدلاً من ذلك ، إنقاص العكارة و / أو اللون إلى بعض المجالات المسموحة . وفي مثل هذه الحالات ، إذا أجري الترسيب والتخثير في نمط ما من معدات الجوامد المعلقة (دثار العكارة) ، كجهاز الترسيب ، فإنه يمكن غالباً إغفال الجزء الأكبر من الماء ، والاكتفاء بترشيح الجزء اللازم لتغذية المراجل ، أو الاستخدامات الخاصة . وإذا كان مطلوباً أيضاً إنقاص (1) عسر البيكربونات ، أو (2) عسر الكربونات و اللاكربونات ، فإنه يمكن عندئذ القيام بـ (1) عملية الكلس البارد ، أو (2) عملية الكلس الصودا الباردة ، إضافة إلى التخثير والترسيب في المعدات نفسها .

نظراً لاختلاف طبيعة اللون العضوية في الماء ، تحتاج بعض المياه ذات اللون الغامق إلى تخثير عند قيم لـ PH أدنى من القيم المحصلة في عملية الكلس البارد ، أو عملية الكلس صودا ، وإذا كان مطلوباً ، في حالات كهذه ، إزالة درجة ما غامقة من اللون ، فإنه يفضل إجراء التخثير والترسيب ، بدون الترافق مع عملية الكلس الباردة ، أو عملية الكلس صودا . وقد نحتاج أيضاً إلى القيام بترشيح هذه المياه من أجل ضمان أفضل النتائج . وقد نحتاج وبالمقابل ، إذا كانت كميات الماء الذي هو قيد المعالجة قليلة نسبياً ، ولا يحمل إلا قدراً يسيراً من العكارة ، فإنه يمكن أحياناً الاستغناء عن صهريج الترسيب ،وتستخدم مادة التخثير قبل أجهزة الترشيح .

يمكن إجراء المعالجة بالكلور ، عند الحاجة عن طريق تغذية الماء بالكلور (هيبوكلوريت) ، وذلك عند دخوله إلى صهريج الترسيب ، أو الصبيب من أجهزة الترشيح (قبل المعالجة بالكلور) ، أو أن نغذي به الصبيب من صهريج الترسيب أو كليهما قبل وبعد (قبل المعالجة بالكلور وبعدها) . عندما تكون كميات الماء ، التي ستعالج كبيرة تقريباً ، فإننا نستخدم عادة غاز الكلور المسيَّل ، وإذا كانت

قليلة نسبياً ، فإنه يمكن استخدام الهيبوكلوريت . وفيما يتعلق بعدم الرغبة بالطعوم والروائح فإنها تمكن إزالتها باستخدام الكربون المنشط ، مسبوقاً ، في بعض الحالات باستخدام عملية التهوية ويمكن استخدام الكربون المنشط ، في شكله المسحوق في صهريج الترسيب ، أو في حالات أخرى ، تزال الطعوم والروائح ببساطة عن طريق تمرير الماء عبر مرشحة الكربون المنشط ، التي تحتوي على سرير من الكربون المحبب المنشط .

ملاحظة : انظر الفصل 13 فيما يتعلق بالتخثر ، والترسيب ، والترشيح ،والمعالجة بالكلور .

إزالة الحديد و/ أو المنجنيز Iron and /or Manganese Removal

عند وجود الحديد و/ أو المنجنيز على شكل بيكربونات ثنائية التكافؤ ، فإنه تمكن إزالتها بالتهوية والترسيب و(عادة) بالترشيح . فإذا كانت قيمة الـ PH أعلى من 7 فإن الحديد يتأكسد بسرعة كبيرة إلى هيدروكسيد غير ذواب ، ولكن المنجنيز يحتاج إلى قيمة أعلى للـ PH . وعند الحاجة لإنقاص العسر بطريقة الكلس الباردة (أو طريقة الكلس صودا) ، فسوف تحدث التهوية ، قبل دخول الماء إلى المعدات إزالة ممتازة للحديد والمنجنيز وخصوصاً في نمط الجوامد المعلقة من المعدات .

وعندما نحتاج إلى تيسير كامل بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو كاتيونات الهيدروجين ، فإنه تمكن إزالة الحديد أو المنجنيز الذوّاب ، في وقت واحد مع العسر ، بواسطة أي من هاتين الطريقتين . وهناك طريقة أخرى يمكن استخدامها إذا لم يكن الحديد و/ أو المنجنيز أكثر من 1 ppm ، ألا وهي طريقة الترشيح بزيوليت المنجنيز . يمكن بالتهوية إزالة الحديد و/ أو المنجنيز من المياه الحمضية وبالتعادل إلى قيمة مناسبة للـ PH ، وبالترسيب وبالترشيح . يمكن عادة إزالة هيدروكسيد الحديد المعلق ، أو الحديد و / أو المنجنيز المستخلبين عضوياً بواسطة التخثير ، والترسيب ، و (عادة) بالترشيح .

ملاحظة: انظر الفصل 14 ، فيما يخص إزالة الحديد والمنجنيز .

إزالة كبريت الهيدروجين : *Hydrogen Sulfide Removal*

تحتوي معظم المياه الكبريتية على كميات قليلة نسبياً من كبريت الهيدروجين ، فإذا لم تكن قيمة للـ PH عالية جداً ، فإن هذه المياه تُهوّى عادة ثم تعالج بعد تهويتها بالكلور ، وذلك لأكسدة الثمالات أياً كانت . أما المياه التي تحتوي على كميات أعلى من الكبريتات ، فلا تعالج بمثل هذه السهولة ، و إنما قد تحتاج إلى معالجة خاصة .

ملاحظة : انظر الفصل 3 ، فيما يخص الغازات المنحلة ، والفصل 10 ، فيما يخص التهوية .

مستخدمو معدات معالجة الماء

Users Of Water - Treating Equipment

قام بعض المؤلفين منذ حوالي 50 عاماً بوضع قائمة مبوبة لمستخدمي معدات معالجة الماء وأنماط تلك المعدات التي كانت تستخدم . وكانت تجري بين حين وآخر مراجعة هذه القائمة .

ويتضمن الجدول 5.1 قائمة جزئية لمستخدمي معدات معالجة الماء وأنماط تلك المعدات المستخدمة في مختلف الصناعات وذلك بعد آخر تنقيح لتلك القائمة . وعلى الرغم من طول هذه القائمة ، فإننا نعترف مبتهجين ، بأنها ما تزال ناقصة وذلك بمقدار ما يتعلق الأمر بتصنيفات معالجة المياه ، أو طرقها المختلفة ضمن كل تصنيف ولكنها تعطي فكرة عن المكان الذي تستخدم فيه تلك المعدات ومن هم الذين يستخدمونها أفضل بكثير مما يقدمه تقرير عام مثل (تستخدم معدات معالجة المياه لمعالجة مياه المراجل ، ومياه التبريد ، والمياه المعالجة في مختلف الصناعات) .

ويمكن أن نضيف أيضاً أن المعدات المدرجة ضمن كل صنف تقوم على أساس المنشآت الواقعية ، وليس على أساس الغرض الذي يحتمل أن تستخدم من أجله .

Users: Classified listing	Boilers	Cooling	Process	General	Na-Cat. Ex.	H-Cat. Ex.	Cold L.P.	Hot. L.S.	Demin.	Filtr'n.	Fe-Mn
Cotton linters companies	x		x	x	x			x	x	x	x
Creosoting plants	x				x						
Cutlery mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Dairies	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Dental laboratories	x			x	x	x					
Detinning plants	x		x	x	x					x	x
Die casting companies	x			x	x						
Dielectrics mfrs.	x		x	x	x	x			x	x	x
Diesel power plants		x			x				x	x	
Disinfectant mfrs.	x			x	x					x	
Distilleries	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Doctors' offices and clinics	x			x	x					x	x
Dredging companies	x				x					x	
Drillers: well	x				x					x	
Drug houses	x	x	x	x	x				x	x	x
Dry ice mfrs.	x	x			x		x		x	x	
Dye houses: various	x		x	x	x	x		x	x	x	x
Dyestuff mfrs.	x		x	x	x	x			x	x	x
Elastomers mfrs.	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Electric light and power plants	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Electrical equipment mfrs.	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Electro-chemical plants	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Electroplating plants	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Elevator mfrs.	x	x			x					x	
Elevators: grain	x	x			x						
Enameling companies	x		x	x	x			x	x	x	x
Explosives mfrs.	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Extracts mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Fan mfrs.	x		x	x	x					x	
Farms and plantations: various	x	x	x	x	x					x	x
Feed mills	x	x		x	x	x				x	x
Felt mills	x		x	x	x					x	x
Fertilizer plants	x	x	x	x	x					x	
Fibre board mills	x		x	x	x		x	x		x	x
Filling stations				x	x						x
Films, photographic: mfrs. and developers	x		x	x	x		x	x	x	x	x
Filtration plants	x			x	x		x		x	x	x
Finishers: textile	x		x	x	x					x	x
Firearms mfrs.	x			x	x						
Fisheries	x		x	x	x					x	x
Flour mills	x	x		x	x	x				x	x
Food industries	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Forge works	x			x	x					x	x
Fruit growers, packers and canners	x		x	x	x				x	x	x
Furnace mfrs.	x			x	x						
Furniture factories	x			x	x					x	
Gas engine mfrs.	x	x		x	x		x	x		x	x
Gas engines: power plants, pumping stations, etc.		x		x	x	x	x		x	x	x

Users: Classified listing	Boilers	Cooling	Process	General	Na-Cat. Ex.	H-Cat. Ex.	Cold L.P.	Hot L.S.	Demin.	Filtr'n.	Fe-Mn
Gas plants	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gases, liquid and compressed: mfrs.	x	x	x	x	x		x		x	x	x
Gasket and packing mfrs.	x		x	x	x	x			x	x	x
Gauze, surgical: mfrs.	x		x	x	x					x	x
Gear works	x				x						
Germicide mfrs.	x		x	x	x					x	x
Gelatine mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Glass factories: plate, bottle, etc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Glove mfrs.	x		x	x	x					x	
Glucose mfrs.	x	x	x	x	x		x	x		x	x
Glue plants	x	x	x	x	x					x	x
Gold mines	x	x	x		x					x	
Government offices and departments	x			x	x					x	x
Gypsum products plants	x		x	x	x	x	x	x		x	
Hat factories	x		x	x	x					x	
Heating companies	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Homes: residences, fraternal, county, etc.	x			x	x			x		x	x
Hosiery mills	x		x	x	x				x	x	x
Hospitals	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Hotels	x			x	x					x	x
Hydrogenation plants	x				x				x		
Hydrogen peroxide mfrs.	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Ice plants	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Ice cream factories	x	x	x	x	x		x			x	x
Ink mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Insecticide mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Institutions: various	x			x	x			x	x	x	x
Instrument mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Insulation mfrs.	x	x	x	x	x					x	
Iron: mines, mills, foundries, etc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Jams, jellies and pectin mfrs.	x		x	x	x					x	
Jute mills	x		x	x	x					x	
Knitting mills	x		x	x	x					x	x
Laboratories: various	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Lacquer mfrs.	x		x	x	x						
Lamp and bulb factories	x		x	x	x			x	x	x	x
Laundries	x		x	x	x					x	x
Lead: mines, refineries and products plants	x		x	x	x				x	x	x
Leather: tanneries and mfrs.	x		x	x	x	x				x	x
Lime producers	x				x			x		x	
Linen mills	x		x	x	x					x	x
Linoleum mfrs.	x			x	x			x		x	
Locomotive works	x			x	x			x		x	
Lubricant mfrs.	x	x		x	x		x		x	x	x
Lumber: camps, mills, etc.	x				x			x		x	
Machine shops and mfrs.	x	x		x	x			x	x	x	x
Machinery, farm: mfrs.	x	x		x	x			x		x	x
Magnesium and magnesium products mfrs.	x	x	x	x	x		x	x		x	x

Users: Classified listing	Boilers	Cooling	Process	General	Na-Cat. Ex.	H-Cat. Ex.	Cold L.P.	Hot L.S.	Demin.	Filtr'n.	Fe-Mn
Mail order houses	x			x	x					x	x
Marine: camps, barracks, hosp., etc.	x			x	x			x		x	
Match factories	x		x	x	x			x		x	x
Meat packing plants	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Mercerizing plants	x		x	x	x					x	x
Metal stampings and plating plants	x		x	x	x		x	x	x	x	x
Mills: various	x	x		x	x	x	x	x		x	x
Mines: various	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mirror mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Motels	x			x	x					x	x
Motors, electric: mfrs.	x	x		x	x			x	x	x	x
Municipalities: water works, power plants, etc.	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Navy: ships, air bases, camps, hosp., etc.	x			x	x		x			x	x
Nickel: refineries and mfrs.	x			x	x		x	x	x	x	
Nitre: mines and plants	x				x						
Oil wells: drilling, flooding, repressuring, etc.	x				x		x			x	x
Optical eqpmt. mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Ordnance plants	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Paint and pigment mfrs.	x		x	x	x		x		x	x	x
Paper mills: various	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pectin mfrs.	x				x						
Pencil factories	x			x	x				x		
Penitentiaries	x			x	x	x				x	x
Petrochemical plants	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pharmaceutical mfrs.	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Phonograph factories	x			x	x					x	
Phosphate mines and works	x		x		x			x	x	x	
Photographic materials mfrs.	x		x	x	x		x	x	x	x	x
Photographic studios: still and moving picture			x	x	x					x	x
Piano factories	x				x						
Pipe line stations	x	x		x	x			x		x	x
Pipe mfrs.	x	x		x	x			x		x	x
Planing mills	x				x			x			
Plastics mfrs.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Post offices	x			x	x					x	x
Potteries	x		x		x				x	x	x
Print works: textile	x		x	x	x					x	x
Printing press mfrs.	x				x						
Produce plants	x				x						
Public utilities	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Publishers	x			x	x					x	x
Pulp mills	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pump mfrs.	x				x						
Pumping stations	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Quarries	x				x			x			
Radiator mfrs.	x			x	x					x	
Radio: mfrs., stations, etc.	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Railways: steam, electric, diesel	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x

Users: Classified listing	Boilers	Cooling	Process	General	Na-Cat. Ex.	H-Cat. Ex.	Cold L.P.	Hot L.S.	Demin.	Filtr'n.	Fe-Mn
Rayon: mfrs. and mills	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Refineries: edible oil	x		x	x	x	x		x	x	x	x
Refineries: petroleum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reformatories	x			x	x					x	x
Refractories mfrs.	x			x	x				x	x	x
Refrigeration plants	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Refrigerator mfrs.	x			x	x			x		x	
Restaurants	x			x	x					x	x
Roofing materials mfrs.	x	x		x	x					x	
Rolling mills	x	x		x	x		x			x	
Rubber: mills and factories	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Salt producers	x		x	x	x		x	x		x	x
Saw mills	x				x			x		x	
Screw machine companies	x				x						
Separators mfrs.	x				x					x	
Sewage disposal plants	x				x					x	
Sheet metal works	x			x	x					x	
Sheet and tube mills	x	x		x	x		x			x	x
Shoe factories	x		x	x	x					x	
Shops: various	x		x	x	x						
Showcase mfrs.	x				x						
Signal equipment mfrs.	x				x						
Silk: throwers, mills, hosiery mfrs., etc.	x		x	x	x					x	x
Silverware mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Smelters: various	x	x			x	x	x	x		x	
Soap factories	x		x	x	x	x		x	x	x	
Soda mfrs.	x		x	x	x			x		x	
Solvents mfrs.	x	x		x	x		x	x	x	x	x
Soya products plants	x		x	x	x	x	x	x		x	
Spark plug mfrs.	x		x		x				x		
Sporting goods mfrs.	x		x	x	x				x		
Starch mfrs.	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Steamships	x			x	x					x	
Steel mills	x	x		x	x	x	x	x		x	x
Stock yards	x		x	x	x		x			x	
Storage warehouses	x				x						
Stores: deptmt., grocery, drug, etc.	x			x	x					x	x
Stove foundries	x				x						
Studios: photographic			x	x	x					x	x
Sugar: plantations and refineries	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sulfur companies	x		x	x	x		x	x		x	
Swimming pools: various	x			x	x					x	x
Synthetic detergents plants	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Synthetic fibers plants	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Syrup mfrs.	x		x	x	x		x	x		x	
Tank shops	x				x						
Tanneries	x		x	x	x	x				x	x
Tannin mfrs.	x		x	x	x	x					

Users: Classified listing	Boilers	Cooling	Process	General	Na-Cat. Ex.	H-Cat. Ex.	Cold L.P.	Hot L.S.	Demin.	Filtr'n.	Fe-Mn
Tar products companies	x	x		x	x			x		x	
Telephone and telegraph companies	x			x	x				x	x	x
Television mfrs., stations, etc.	x	x	x	x	x				x	x	x
Textile plants: various	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Theaters and auditoriums	x			x	x						
Thread mills	x		x	x	x			x		x	
Tile works	x				x						
Tires, rubber: factories	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Titanium products mfrs.	x			x	x	x	x			x	
Tobacco and products factories	x				x	x				x	
Toilet preparations mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Tool factories	x				x						
Turpentine camps	x				x						
Type foundries	x				x						
Typewriter mfrs.	x		x	x	x				x		
Underwear mills	x		x	x	x					x	x
Universities	x			x	x	x	x		x	x	x
Uranium refineries	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Vaccine mfrs.	x			x	x						
Vacuum bottle mfrs.	x		x	x	x				x	x	
Vanadium companies	x				x				x		
Varnish mfrs.	x		x	x	x				x		
Viscose plants	x		x	x	x			x	x	x	x
Wagon works	x				x						
Wallboard mfrs.	x				x			x		x	
Wallpaper mfrs.	x				x						
Warehouses	x				x						
Washing machine mfrs.	x				x			x			
Watch factories	x				x						
Water works: municipal and private	x			x	x	x	x			x	x
Weavers	x		x	x	x					x	x
Well drillers	x				x					x	
Wheel works	x				x			x			
Wire mills	x				x	x				x	
Wood extracts mfrs.	x		x	x	x	x		x		x	
Wood working plants	x				x			x			
Woolen and worsted mills	x		x	x	x	x	x			x	x
X-Ray equipment mfrs.	x				x						
Yarn mills	x		x	x	x					x	x
Yeast mfrs.	x			x	x	x					
Y.M.C.A.'s and Y.W.C.A.'s	x			x	x					x	x
Zeolite mfrs.	x		x	x	x				x	x	x
Zinc mines and refineries	x			x	x	x		x		x	

الجدول 5.1 قائمة جزئية لمستخدمي معدات معالجة الماء وأنماط تلك المعدات المستخدمة في مختلف الصناعات

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

إن العناوين في الجدول السابق من أجل الاستخدامات والمعدات هي كما يلي : الأربعة الأولى للاستخدامات والمعدات المستخدمة لإنجاز تلك العمليات :

1. المراجل Boilers . استخدام الماء لتغذية المراجل .
2. التبريد Cooling . استخدام الماء لأغراض التبريد .
3. المعالجة process . استخدام الماء لشغل المعالجة .
4. عام General . استخدام الماء للشرب ولاستعمالات أخرى عامة
5. Na-cat . ex . عملية تبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت) .
6. H-cat . ex . عملية تبادل كاتيونات الهيدروجين .
7. Cold L . p . أي عمليات الكلس الباردة والكلس صودا وتبادل كاتيونات الكلس والصوديوم ذات المرحلتين ، الخ .
8. Hot L . S . أي من عمليات الكلس صودا الساخنة وتبادل كاتيونات الكلس والصوديوم الساخنة والكلس صودا الساخنة ذات المرحلتين وفوسفات الصوديوم .
9. Demin . أية عملية لنزع المعادن بتبادل الأيونات .
10. Filtr,n . عمليات التخثير و/ أو الترسيب ، و/ أو الترشيح.
11. Fe - Mn . أي من عمليات إزالة الحديد و/ أو المنجنيز .

يمكن أن نلاحظ : (1) أنه في بعض أصناف الصناعات تستخدم كل طريقة فترة قصيرة (2) وفي أصناف أخرى لم يجر إدراج طريقة واحدة أو عدة طرق . ومن الواضح بالنسبة لـ (1) أن تلك الأصناف لا تتضمن أن مصنعاً واحداً قد استخدم كل الطرق المدرجة بل سنجد وببساطة ، وبعد تفحص عدد كبير من المصانع في هذا الصنف ، أنه قد تم استخدام كل طريقة . وفيما يتعلق بـ (2) إذا لم يجر إدراج بعض الطرق ، فمعنى ذلك ببساطة أنه وفي عدد من المصانع التي تم تفحصها لم يجر استخدام هذه الطرق .

User or Product	Units	Gallons of Water/Unit
Alcohol	per gal	100
Aluminum	per lb	160
Boilers, steam	per boiler h.p. hr. (100% rating: 100% make-up)	4
Breweries	per bbl	470
Buildings, office	per person per day	27–45
Butadiene	per lb	160
Canneries:	per 100 cases #2 cans	
apricots		8000
asparagus		7000
beans, green, pork and		3500
beans, lima		25000
beets, corn, peas		2500
grapefruit juice		500
grapefruit sections		5600
peaches, pears		6500
pumpkin, squash		2500
sauerkraut		300
spinach		16000
succotash		12500
tomatoes, products		7000
tomatoes, whole		750
Cattle	per head per day	12
Cattle, milch cows		20–25
Cement	per ton	750
Coke	per ton	3600
Condensers, surface	per lb steam condensed	2.4–7.2
Dairies and milk products	per 1000 lb milk processed	
receiving station		180
bottling works		250
cheese factory		200
creamery		110
condensery		150
dry milk factory		150
general dairy		340
Distilleries	per bu. grain mashed	600
Distilling, molasses	1000 gal 100 proof	8400
Distilling, cooling water	1000 gal 100 proof	120000
Explosives	per lb	100
Gasoline	per gal	7–10
Hogs	per head per day	1
Horses	per head per day	12
Horses, heavily worked		20–25
Hospitals	per bed per day	135–350
Hotels	per guest room per day	300–525
Laundries:	per lb "work"	
commercial		4.3–5.7
institutional		3
Meat:		
packing plant	per 100 hogs killed	550
slaughterhouse	per 100 hogs killed	550
stockyards	per acre	160

User or Product	Units	Gallons of Water/Unit
Miscellaneous:		
bath	per bath (flow rate 4–10 gpm)	30
flush tank	(flow rate 3–5 gpm)	7
flushometer, new	(flow rate 30 gpm)	4
flushometer, old	(flow rate 60 gpm)	5
kitchen sink bibs	(flow rate 2–8 gpm)	
laundry tub bibs	(flow rate 4–10 gpm)	
lavatory	(flow rate 1–5 gpm)	
showers	(flow rate 2–10 gpm)	
taps	(flow rate 1–3 gpm)	
Municipalities	per capita per day	35–>200
Oil, edible	per gal	22
Oil fields, petroleum	per bbl crude	180
Oil refineries, petroleum	per bbl crude	770

User or Product	Gallons of Water/Ton		
	(max.)	(min.)	(aver.)
Paper pulp:			
ground wood—news	12800	4000	9600
ground wood—specialties	50000	5000	28800
sulfite—unbleached	62000	40000	51000
sulfite—bleaching	92000	50000	75700
sulfite—total bleached	133000	70000	92000
sulfite—news, unbleached	57000	27500	43000
sulfite (book, waxing, bond, catalog and hanging grades)			
—unbleached	60000	30000	39300
—bleaching	41600	39000	40200
—total bleached	83100	70000	75100
soda—unbleached	34000	20000	28000
soda—bleaching	40000	12700	26000
soda—total bleached	80000	36000	58000
kraft—unbleached	57000	11000	34600
kraft—bleaching	67000	5000	36000
kraft—total bleached	93000	91600	92300
Paper:			
flooring, roofing	12000	875	6440
test liner, box, folding etc.	40000	6600	15000
kraft container	16000	2000	9000
bristols, indexes	30500	6700	25600
rope	—	—	100000
bonds, etc. (writing, ledger, waxing, parchment)	170000	12200	42500
book (coating stock, catalog, magazine, directory)	90000	5000	27800
kraft (wrapping, bag, liner, corrugated boxboard, cover, tag)	84700	15000	36100
rag (unsized, waterleaf, fine papers)	170000	27000	84300
tissue (kraft, toilet, towel, napkin)	50000	8000	29000
news	33000	9500	22000

User or Product	Units	Gallons of Water/Unit
Rail freight	per ton mile	0.1
Residences	per person per day	30–50
Restaurants	hot water, dishwashing, per meal	1–4.5
Smokeless powder	per ton	50000
Soap factories	per ton	500
Steel:		
Highly finished	1 ton	65000
Rolled steel:		
cold rolled, high carbon, strip	1 ton	62000
cold rolled strip	1 ton	6000
hot rolled steel plates	1 net ton	15000
rolled steel	1 ton	80000
rolled steel	1 net ton	110000
steel sheets and coils	1 ton	13000
Tanning:		
vegetable	per 100 lb raw hide	800
chrome		800
Textiles:		
cotton—sizing	per 1000 lb processed	820
cotton—desizing		1750
cotton—kiering		1240
cotton—bleaching		300
cotton—souring		3400
cotton—mercerising		30000
dyeing—basic		18000
dyeing—direct		6400
dyeing—vat		19000
dyeing—sulfur		5400
dyeing—developed		14400
dyeing—naphthol		4800
dyeing—aniline black		15600
print works		4500
knit goods bleached	per lb	8
rayon manufacture	per 1000 lb produced	160
rayon hosiery	per 1000 lb produced	9000
silk hosiery dyeing	per lb	3.5
wool—scouring and bleaching	per lb	20
wool—finished	per lb	70

الجدول 2 – 5 متطلبات الماء : الكميات للاستعمالات المتعددة

ويتضمن الجدول 5.2 قائمة موجزة بكميات الماء المستخدمة لمختلف الأغراض ولكن لا يجب أخذ تلك الأرقام على أنها كميات ثابتة لأن كميات الماء، التي تستخدم في مختلف المصانع ، وللصناعة نفسها قد تكون مختلفة بشكل واسع فمثلاً قد يقوم مصنع ما باستخدام كميات كبيرة من مياه التبريد ولمرة واحدة

فقط ثم تنتهي إلى الهدر ، في حين يسترد مصنع آخر يقوم بالعمل نفسه معظم ماء التبريد فيه . ومن هنا قد تكون كمية الماء الإجمالية المستخدمة في المصنع الأول أكبر بكثير من تلك التي يستخدمها المصنع الثاني . إن المياه المعالجة التي تستخدم للعملية نفسها في مختلف المصانع قد تختلف أيضاً في كميتها إلى حد كبير لأن هذه المياه قد تضيع هدراً في بعض المصانع بعد الاستخدام بينما قد تعيد مصانع أخرى استخدام جزء كبير منها بواسطة ما يعرف بالدورة المغلقة .

ومن الواضح أنه يمكن ، في فصل واحد إعطاء أوصاف مفصلة لكافة استخدامات المياه في مئات الصناعات المدرجة في الجدول 1. 5 . يضاف إلى ذلك أن الأوصاف المفصلة ، ستكون مملة إلى حد كبير في تكرارها لأن الاستخدامات الرئيسية للماء في كثير من الصناعات تكون للمراجل البخارية ، ولأعمال التبريد ولأغراض عامة . ولكن من المستحسن ، كما يبدو تكريس بقية هذا الفصل لوصف استخدامات المياه والمعالجات المتّبعة من قبل أكثر من مائة مستخدِم ، لأننا سنجد أن أكثر المعضلات المساهمة شبيهة بتلك التي يواجهها مستخدمون آخرون كما في الصفحات التالية .

الصناعات الخاصة بمصانع السيارات : ***Automotive industries***

تستعمل هذه الصناعات كميات كبيرة من الماء للتبريد وتغذية المراجل والمعالجة ولاستخدامات عامة في المصانع . فمياه التبريد تستخدم لتبريد المكثفات والأفران والمحركات ولأغراض تبريد أخرى والمراجل البخارية تختلف في ضغوط تشغيلها فيستخدم البخار أولاً على الأغلب لتوليد الطاقة ، وثانياً لمختلف أغراض التسخين والمعالجة . وتستخدم المياه المعالجة لتنظيف المعادن ، ولتنظيفها بالمغاطس الحمضية ، وطليها كهربائياً ومعالجتها بالطرق الأنودية Anodizing ، وشطفها ، وجليها ، وغسلها ، ولمختلف المعالجات الأخرى ويشمل الماء لأغراض عامة ، الماء الذي يستخدمه ملاك المستخدمين في المصنع والماء الذي

يستخدم للشطف الكاسح ، ولاستخدامات أخرى عامة في المصنع . وحيثما تستخدم المياه السطحية ، فإنه يمكن تخثير ، وترسيب كامل المياه ، أو معظمها ، ومعالجتها بالكلور . وحيثما تستخدم المياه الجوفية الحاوية على الحديد و/ أو المنجنيز فإن هذه الشوائب تزال عادة من كامل مياه المصنع ، بواسطة التهوية ، والترسيب ، والترشيح ، ويمكن إجراء ذلك بمعدات المعالجة الباردة بالكلس ، ومن ثم يكون إنقاص العسر مطلوباً أيضاً . ولمياه تغذية المراجل ، تستخدم المعالجات الساخنة على نطاق واسع (طريقة الكلس صودا الساخنة ، والطريقة الساخنة لتبادل كاتيونات الكلس والصوديوم ذات المرحلتين ، والطريقة الساخنة للجير صودا ذات المرحلتين ، وطريقة فوسفات الصوديوم ، ويستخدم نمط المعالجة الحارة للجوامد المعلقة (دثار العكارة) للإنقاص المتزامن لمحتوى السيليكا . وتستخدم طريقة إزالة المعادن بتبادل الأيونات وإزالة السيليكا عند الحاجة لنوعية عالية جداً من مياه تغذية المراجل .

ومياه التبريد في مختلف المصانع ، واعتمادا على تركيبها وشروط استخدامها أو شروط إعادة استخدامها قد تعالج وقد لا تعالج . وفي تلك المصانع التي تقع بالقرب من موارد غزيرة للمياه السطحية ، فإن مياه التبريد تذهب هدراً وبالتالي فإن معالجتها إذا كانت تحتاج إليها تتألف عادة فقط من التنقية ، والمعالجة بالكلور ، ولكن بالنسبة للمياه ، التي تحتوي على كميات مزعجة من عسر البيكربونات ، فقد تستخدم المعالجة الحمضية غير المكلفة . أما المصانع التي تستعمل موارد مائية نقية لكنها جوفية عسرة ، فتستخدم عادة المعالجة الباردة بالكلس ، وذلك لتخفيف عسر البيكربونات ، وإعادة تدوير الماء في برج للتبريد ويستخدم الكلور لمعالجة المياه المتجددة الدورا لكبح الناميات الطحلبية .

وعن طريق عملية تبادل كاتيونات الصوديوم ، يجري عادة تيسير المياه المعالجة ، التي تستخدم لتنظيف المعادن بالصابون ، والقلويات ، والفوسفات ، والمطهرات الأخرى ، إضافة إلى المياه المستخدمة لمختلف عمليات التنظيف ،

والغسل ، والفرك ، والشطف . أما المياه المعالجة ، التي تستخدم في مغاطس حمض الفسفور للتنظيف ، وفي المعالجة بالطريقة الأنودية والطلاء بالكهرباء ، وبعض العمليات الأخرى ، فتنزع معادنها بطريقة تبادل الأيونات .

تستخدم طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين لإزالة الملوّثات المعدنية من المحاليل ، وتستخدم مياه الشطف في مغاطس حمض الفسفور للتنظيف ، والطريقة الأنودية بحمض الكروم ، وعمليات الطلاء بالكروم . وعندئذ ، تعقب عملية تبادل الأنيونات عملية تبادل كاتيونات الهيدروجين ، التي تستعمل للمولد المستهلك من مبادل الأنيونات ، وتستخدم على نطاق واسع في استعادة حمض الكروم من مياه الشطف ، والمياه المهدوره ، في عمليات المعالجة الأنودية ، والطلاء بالكروم . وتستخدم المياه المنزوعة المعادن أيضاً لعمليات الشطف ، بعد المعالجة الفوسفاتية ، وبعد الطلية الأولية لإزالة بثرات رأس الدبوس من المينا ، كما تستخدم هذه المياه لعمليات أخرى كثيرة في صناعة السيارات ،وصناعة الربط ، كما في تصنيع المطاط التركيبي ، وشمعات الإشعال ، والزجاج ، وبطاريات التخزين الكهربائي .

تسحب موارد الماء البلدية ، في بعض المصانع ، لتوفير الماء ، الذي يستخدم للشرب ، ومن قبل ملاك المستخدمين ، أما في مصانع أخرى ، فتوفر الموارد المائية الخاصة كافة الاحتياجات . إذا كان الماء خفيف العسرة ، فلا تطبق عملية التيسير على ما يستخدمه طاقم الموظفين ،أما مع العسرة الأشد ، فتشبع عملية التيسير بالتسخين ، وكذلك أيضاً تيسير الماء البارد والساخن ، لتيسير هذا الماء ، فهي دائماً طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم .

تعبئة القوارير : الأشربة المكربنة :

Bottles : Carbonated Beverages

يمكن تقسيم الماء اللازم في مصنع تعبئة القوارير إلى صنفين :

(1) الماء الذي يستخدم لإعداد الشراب .

(2) الماء الذي يستخدم لغسل القوارير ، ولأغراض عامة ، والماء المعدّ لتغذية المراجل .

تحسب كمية الماء اللازمة لإعداد الشراب ، على أساس السعة الإجمالية للقوارير اللازم تعبئتها يومياً ، مضافاً إليها تفاوتاً مسموحاً للهدر مقداره ، 15% . وتقدر كمية الماء اللازمة لغسل القوارير ، وللأغراض العامة ، ولتغذية المراجل بـ 2 كوارتاً للزجاجة المغسولة . وعموماً ، تبلغ هذه الكمية 10–15 مرة ضعف الماء اللازم لإعداد الشراب . يجب أن تكون كلتا الكميتين خاليتين من الحديد ، والمنجنيز ، والعكارة ، واللون ، والطعم ، والرائحة ، والجراثيم المرضية ، إضافة إلى وجوب كون الماء المعد للشراب خفيف القلوية ، ويفضل أن لا تزيد هذه عن 50ppm في حين يجب أن يكون الماء . الذي يستخدم لغسل القوارير ، والأغراض العامة ، وتغذية المراجل . يسراً ، ويفضل أن تكون عسرته صفراً .

من الناحية العملية ، تعمل كافة مصانع تعبئة القوارير بموارد الماء البلدية . ولكن على الرغم من احتمال كون هذه الموارد خفيفة المحتوى القلوي ، وخالية من العكارة ، واللون ، والطعم ، و الرائحة ، فإن معظم مالئي القوارير ، ينشطون أجهزة رملية للترشيح ، وأجهزة ترشيح بالكربون المنشط ، تحسباً لاحتمال حدوث عكارة من رواسب الأنابيب الرئيسية ، أو احتمال دخول الطعم أو الرائحة الكريهة ، التي تتطور أحياناً في المورد المائي . إذا كانت قلوية الماء تزيد عن 50 ppm فإن تسلسل المعدات كما يلي :

(1) جهاز تيسير الماء بالكلس على البارد (مع تغذيات كيميائية مع الكلس , كالشب ، أو كبريتات الحديد ، أوالهيبوكلوريت أو الكلور .

(2) أجهزة الترشيح بالرمل أو الكالسيت .

(3) أجهزة ترشيح بالكربون المنشط .

وتعقب هذه الوسائل أحياناً ، أجهزة الترشيح القرصية الورقية ، أو أجهزة الترشيح بالكربون ، التي قد تحمل طبقة من مرشح رملي ، تحت الكربون المنشط .

ولتخفيف القلوية ، تستخدم إلى حد ما مبادلات شاردة حمضية ، بدلاً من أجهزة التيسير بالكلس بارد اً. وتقتني بعض مصانع تعبئة القوارير ، إضافة إلى الهيبوكلوريت أو الكلور ، أجهزة تعقيم ، وأجهزة لتوليد الأوزون تعمل بالأشعة فوق البنفسجية ، إلخ . مع ذلك ، فإن نظام معدات تعقيم المياه الأكثر تعقيداً ، سوف لن يتغلب على الإهمال في عمليات معالجة الشراب ، وتعبئة القوارير ، فإذا ظهرت ناميات عضوية ، فإن العوامل الأخرى هذه ، إضافة إلى الماء ، يجب أن تفحص بالكامل . إن التعقيم الدوري بالبخار للمرشحات ، التي تعمل بالكربون المنشط ، يستعمل اليوم في كثير من مصانع التعبئة .

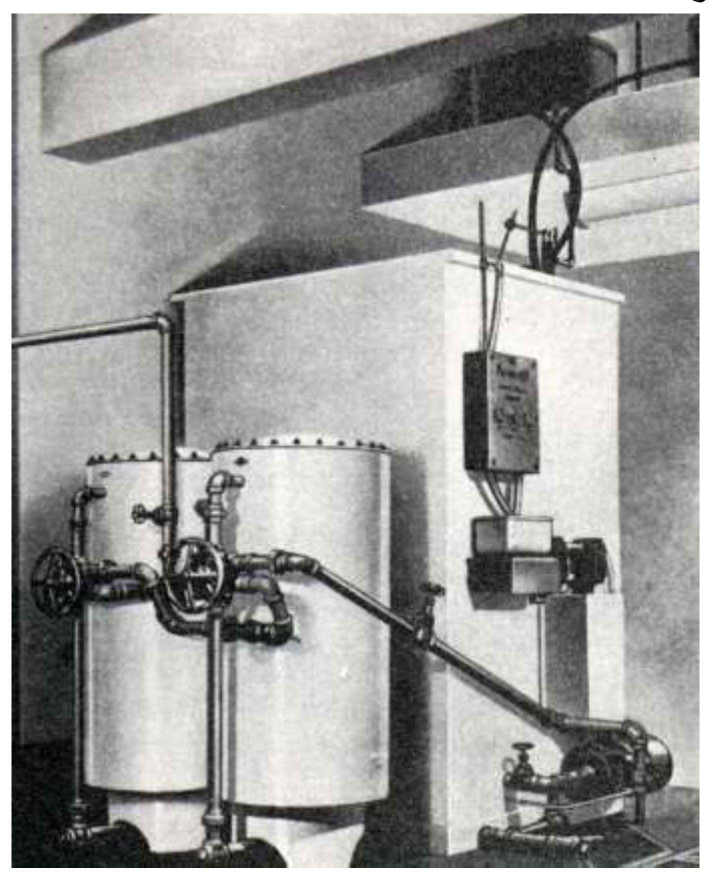
إذا وجد الحديد والمنجنيز في الماء بكميات غير مرغوب فيها فإنه يمكن إزالته :

(1) في جهاز تيسير الماء بالكلس البارد ، وأجهزة ترشيحه بواسطة التهوية فوق بعض ، عندما يدخل الماء إلى المعدات .

(2) بإجراء استبدال جهاز تيسير الماء بالزيوليت ، أو بمبادلات شاردية حمضية موجبة .

يفضل أن يكون الماء المستخدم لغسل القوارير ، و الأغراض العامة ، وتغذية المراجل بـ " عسرة صفر" . إن نمط جهاز تيسير الماء بتبادل شوارد الصوديوم ملائم أكثر لهذه الغرض . وفي أجهزة غسل القوارير ، ينظف جهاز التيسير المذكور الزجاجات بشكل أفضل ، ويطرح الرواسب ، ويوفر مواد التطهير . ويمكن إدراك إمكانية توفير مواد التطهير بتيسير المياه العسرة . في مصنع لتعبئة القوارير ، يستخدم ماء بعسرة 20 غ / جالون 343 ppm ، كانت كلفة مواد التطهير 0.0026 دولاراً ، لصندوق الزجاجات من سعة 5.5 آوناً وبعد التيسير

إلى صفر ، انخفض هذه الكلفة إلى 0.0007 دولاراً للصندوق الواحد وبالتالي بلغ وفر المطهرات 73 %.



الصورة 1-5 معالجة الماء بطريقة الكلس الباردة والكلورة ثم إزالة آثار الكلور في أحد مصانع المشروبات الغازية

نظراً لأن المراجل تشتغل كثيراً بعوائد ناتج التكييف ، فإن كمية الماء المعدة للتغذية قليلة ، ولكن حيثما تهيأ الماء الميسر ، يجب استخدامه في الإعداد . والماء الميسر أفضل أيضاً ، بالنسبة للأغراض العامة ، ولإبقاء المصنع نظيفاً بشكل دقيق . وبما أن مصانع التعبئة تبقى في " حالة عرض " ، واعتادت أن تدعو الزائرين ، فإن المظهر الخارجي للمعدات مهم ، ولذلك يقومون عادة بدهن

أغلفة أجهزة الترشيح والتيسير بالمينا البيضاء . أو الأغلفة الخارجية من الستانلس ستيل .

مصانع الجعة (البيرة) Breweries :

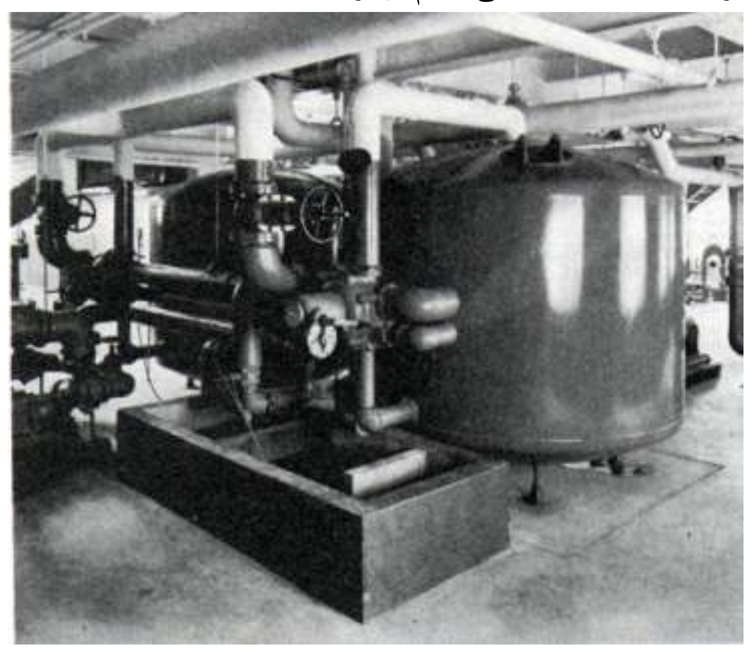
يختلف بشكل عام إجمالي كمية المياه المستخدمة في مصانع الجعة ، ولكن 480 جالوناً لكل برميل واحد من الجعة رقم معتدل تماماً ، ويمكن تصنيف هذه المياه ، حسب استخداماتها النهائية ، كما يلي :

(1) ماء التخمير .
(2) ماء التبريد .
(3) ماء لغسل القوارير والبراميل والتعقيم .
(4) ماء تغذية المراجل.

يجب أن يكون ماء التخمير نقياً ، عديم اللون ، والطعم ، خالٍ من الحديد والمنجنيز ، خالياً من الناحية الجرثومية . ولإعداد البيرة من نمط بلسينر Pilsener الشائع ذي اللون الفاتح ، فإنه من المرغوب فيه وجود محتوى خفيف من البيكربونات ، وعالٍ من الكبريتات . ولذلك ، إذا كان محتوى البيكربونات عالياً ومحتوى الكبريتات منخفضاً في هذه المياه ، فإنه يجب إضافة كبريتات الكلسيوم مع الكلس . وقد ترتفع هذه العسرة لتصل إلى 200-250 ppm (12–15 غ / جالون) . من أجل البيرة العاتمة من نمط مونشنر Muenchener ، لا تحتاج محتوى البيكربونات عادة إلى تخفيف .

المعدات الخاصة بإزالة الطعم والرائحة مهمة لأنها لا تطرح فقط الطعوم والروائح من المياه التي تحتويها عادة ، ولكنها جيدة أيضاً للضمان ضد حدوث طارئ في الطعم أو الرائحة في المورد المائي ، الذي ظُن أنه خالٍ منهما . والنمط الأوسع انتشاراً من معدات إزالة الطعم والرائحة ، هو جهاز الترشيح تحت الضغط ، الذي يعمل بالكربون المنشط ، وتزوّد هذه المرشّحات عادة ، ببطاريات من وحدتين أو أكثر ، بحيث تؤمن تشغيلاً لا يتوقف . على الرغم من أن لمرشّحة الكربون المنشط قدرة امتزاز عالية ، بحيث لا تحتاج إلا لحشوة جديدة واحدة تقريباً

كل سنة فإن معظم مصانع الجعة ، التي تستخدم هذا النمط من المعدات ، تحمل عبوة إضافية جاهزة في كل وقت بحيث يمكن إفراغ وحدة الترشيح ، وإعادة تعبئتها بدون تأخير ، عند اكتشاف أدنى طعم أو رائحة .



الصورة 2 – 5 بطاريتا ترشيح بالكربون الفعال لإزالة الروائح من مياه الجعة

وفي مصانع الجعة ، التي تستخدم طريقة الكلس الباردة لتخفيف عسر البيكربونات ، يمكن القيام بإزالة الطعم والرائحة بواسطة الكلس في جهاز تيسير الماء بالكلس على البارد ، أو باستخدام مرشّحات الكربون المنشط ، وذلك بعد مرشحات التعادل(أو بالمرشحات الرملية ، أو مرشّحات الانثراسيت) . عند الحاجة إلى إزالة الحديد و/ أو المنجنيز ، فإنه يمكن إنجاز هذا بسهولة في جهاز تيسير الكلس البارد ، وذلك بتهوية الماء قبل دخوله إلى خزان الترسيب ، بحيث يمكن أن يتأكسد الحديد و/ أو المنجنيز إلى شكليهما غير الذوّابين ، ثم يزالان ، إضافة إلى راسب عسر البيكربونات ، عن طريق الترسيب والترشيح .

إذا استخدمت مياه التبريد مرة واحدة ، ثم آلت إلى الهدر ، فلا حاجة غالباً إلى معالجتها . وما لم تكن المياه عسرة جداً ، فإن القشور لا تتشكل عادة بسرعة ، ويمكن الاهتمام بذلك ، عن طريق إزالتها بشكل دوري . وقد ينصح بالمعالجة ، إذا كان محتوى ماء التبريد من بيكربونات الكلسيوم عالياً جداً ، أو إذا كان سيعاد استخدامه ويمكن إجراء المعالجة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو طريقة الكلس مع الحمض ، أو بطريقة حمض الكبريت .

إضافة إلى الشروط الأخرى ، فإن عسرة الماء ، الذي يستخدم لغسل الزجاجات ، و البراميل ، والتعقيم ، يجب أن تكون صفراً . الأمر الذي يوفر في عوامل التنظيف ، ويطرح ، في حالة التعقيم ،الرواسب القبيحة ، وكثيراً ما تكون عمليات الصقل ضرورية ، عندما تكون المياه المستخدمة عسرة . وتستخدم أيضاً مع كثير من الموارد المائية ، لتيسير ماء تغذية المراجل في بعض الحالات ، وتعقبها المعالجة الباردة بالكلس . وتستخدم أيضاً طريقة الكلس صودا الباردة أو الكلس بالصودا الحارة وطريقة فوسفات الصوديوم أو طريقة الكلس ومبادل كاتيونات الصوديوم على الساخن لمياه تغذية المراجل ، و إلى حد ما ، طريقة تبادل شوارد الهيدروجين مع صبيب معادل بالصبيب من مبادل الصوديوم .

الصناعات الخزفية ***Ceramics*** :

تستخدم المياه ، في تصنيع الخزفيات ، من أجل شغل المعالجة وتغذية المراجل ، ولأغراض عامة . يجب أن تكون مياه المعالجة نقية ، خفيفة اللون ، خالية من الحديد ، والمنجنيز ، والناميات العضوية كالطحالب Algae ، والكرينوذركس Crenothrix ، وبكتريا تخفيض الكبريتات ، إلخ ، خالية من المادة المعدنية المنحلة ، أو خفيضة المحتوى منها ، وذات تركيب ثابت . تؤثر كاتيونات الكالسيوم والمنجنيز ، وأيونات الكبريت الثنائية التكافؤ ، على نحو دامج

بشكل واضح ، على الجزء الغرواني من الطين الموجود ، والذي يؤثر على لزوجة وقابلية تشكيل مزيج الطين و الماء والفيلدسبار والمواد الأخرى المستخدمة .

تعتبر مياه المعالجة مصدر لهذه الشوائب الدامجة ، والمصدر الآخر ، هي المواد الصلبة المطحونة المستخدمة . كبريتات الكلسيوم ، والمنجنيز ، هي طبعاً شوائب شائعة في المياه . وكبريتات الكلسيوم ، قد تكون موجودة أيضاً في المقومات الصلبة ، على شكل جص gypsum . وشائبة أخرى ، قد تكون موجودة في الطين هي بيريتات الحديد ، ومع مرور الوقت ، قد يتأكسد بعض من هذه البيريتيات ، فيتشكل كبريتات ذوابة . وبسبب خصائصه في استبدال الكاتيونات (الاستبدال القاعدي) ، فقد يحتوي الطين أيضاً على أيونات كلسية ومغنيزية قابلة للتبادل . والعوامل الشائعة الاستخدام في إزالة المواد الدامجة ، هي مزائج مختلفة النسب من سيليكات وكربونات الصوديوم ، التي تتفاعل أيضاً مع أيونات الكلسيوم والمنجنيز ، لإعادتها على شكل سيليكات غير ذوابة نسبياً. وقد تستخدم أيضاً كربونات الباريوم ،لإزالة أيونات الكبريتات ككبريتات باريوم غير ذوابة ، ولكن يجب تفادي الإفراط في استخدامها ، لأن لأيون الباريوم تأثيراً دامجاً أكبر من الكلسيوم أو المغنيزيوم .

إن المياه التي تحمل محتوى عالياً من المعادن مزعجة عادة ، والمياه التي يخضع تركيبها لتبدلات مفاجئة سيئة بشكل مميز . وهذا هو الواقع مع كثير من موارد المياه السطحية ، ولكن هذا الواقع لا يقتصر كلياً على المياه السطحية، لأن بعضاً من مياه الآبار يسبب مشاكل خطيرة ، عندما تؤدي دورات الجفاف الطويلة إلى تبدلات محسوسة في التركيب . كثيراً ما يجري تيسير مياه المعالجة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، التي تفيدنا في إزالة كاتيونات الكلسيوم والمغنيزيوم الثنائية التكافؤ ، وتستبدلها بمقادير متكافئة من أيونات الصوديوم أحادية التكافؤ . ولكن بما أن هذه العملية لا تبدل تركيز الأنيونات ، فإن محتوى الكبريتات في الماء العسر ، إضافة إلى محتوى البيكربونات والكلوريد ، يبقى هو نفسه ، كما في

الماء الخام . وبما أن عملية نزع المعادن بتبادل الأيونات ، تزيل كل الأنيونات ، بالإضافة إلى الكاتيونات ، فإنها لذلك تتمتع بأهمية مميزة في تصحيح المشاكل ، الناتجة عن المحتويات العالية للكبريتات في الماء ، أو عن المياه التي تخضع لتبدلات مفاجئة في التركيب .

وتستخدم معدات أخرى لتهيئة الماء ، تتضمن معدات التخثير ، والترسيب ، والترشيح ، لإزالة العكارة ، واللون من المياه السطحية ، وأجهزة المعالجة بالكلور حيث يكون ضرورياً تطهير المياه السطحية والجوفية ، ومعدات إزالة الحديد و/ أو المنجنيز ، التي تشتمل على أجهزة تيسير الماء بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم(يزال الحديد و / أو المنجنيز ، في وقت واحد ، مع العسرة) ، ومعدات التهوية ، والترسيب ، والترشيح . ويتم عادة تيسير الماء لتغذية المراجل بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو بطريقة الكلس صودا الساخنة .

المصانع الكيماوية : Chemical Plants

إن المصانع الكيميائية بصورة عامة تستهلك الماء بكميات كبيرة جداً ، وأكثرها يملك موارد مائية خاصة ، تسحب من مصادر المياه السطحية ، أو من مصادر الماء الجوفية ، أو من كليهما . ويستخدم بعضها الآخر المياه البلدية ، جزئياً أو كلياً ويقوم أيضاً عدداً من المصانع بمعالجة ، وتنقية ، وإعادة استخدام جزء من مائه لبعض الأعمال في المصنع .تطبق عادة ، مع المياه السطحية ، التي تحتوي على كميات غير مرغوبة من العكارة ، أو اللون أو الشوائب ، معالجة بدائية لكل مياه المصنع ، لإزالة أو تخفيف هذه الشوائب إلى حدود مسموحة نوعية ، تليها أية معالجة أو معالجات لازمة . وإذا كانت المياه الجوفية أيضاً ، تحتوي على شوائب غير مرغوب فيها بشكل عام ، كالحديد ، أو المنجنيز ، أو كبريت الهيدروجين ، أو إذا كان محتواها من عسرة البيكربونات عالياً تجري في البدء معالجة كل مياه المصنع ، تلي ذلك أيضاً أية معالجات لازمة .



الصورة 3 – 5 وحدة لإزالة المعادن من المياه وتتألف من مبادلين كاتيونيين ومبادلين أنيونيين

إن أكثر المصانع الكيميائية ، تستخدم كميات كبيرة من البخار ، لمختلف حاجاتها من تسخين ، وغلي ، وهضم ، وتبخير ، وتقطير ، وتجفيف ، وعمليات أخرى من المعالجة لضرب كبير من المنتجات . ويمكن لبعض هذه المصانع التي تقوم قريباً من وحدات فرعية لتوليد القدرة ، أن تؤمن البخار وحاجاتها من الطاقة من هذه الوحدات . وتحصل مصانع أخرى على الطاقة من مصادر خارجية ، وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخار بضغوط معتدلة . علاوة على ذلك هناك كثير من المصانع التي تقوم بتوليد البخار بضغوط مرتفعة وتوليد الطاقة الخاصة بها وتستمد البخار من مختلف أنماط العنفات بدرجات حرارة وضغوط مناسبة لمختلف عملياتها .

وتستخدم المصانع التي تشغّل مراجلها البخارية في ضغوط شبه مرتفعة عملية تبادل كاتيونات الصوديوم على نطاق واسع لتيسير مياه تغذية المراجل ، وتسبق هذه العملية ، في بعض المصانع ، طريقة الكلس الباردة لخفض

المحتويات القلوية وإجمالي المواد الصلبة من الصبيب النهائي . وفي بعض الحالات ، تستخدم للغرض نفسه ، عملية تبادل كاتيونات الهيدروجين ، مع الصبيب الحمضي ، الذي تتم على نحو أكثر شيوعاً ، معادلته مع الصبيب من عملية تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو بالصود الكاوي في بعض الحالات .

وفي المصانع التي تعمل بضغط مرتفع ، تستخدم على نطاق واسع ، لإزالة السيليكا ولتيسير الماء على الساخن العمليات التالية: عملية الكلس صودا على الساخن، وعملية الكلس صودا وفوسفات الصوديوم على الساخن ذات المرحلتين ، وعملية الكلس الساخنة ومبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين . وتستخدم للضغوط الأعلى عملية نزع المعادن بتبادل الأيونات ، لأن جهاز تبادل كاتيونات الهيدروجين والنزع القاعدي الشديد بتبادل الأنيونات وإزالة السيليكا ذو المرحلتين ، هو التصميم العام الذي يستخدم على نطاق واسع في هذا الميدان . وتستخدم بعض المصانع الكيميائية في عملياتها الماء الدائر بدرجة حرارة عالية ، ومع هذه الأجهزة فإن العملية الوحيدة لتيسير الماء التي تستخدم عموماً في معالجة كميات قليلة من الماء الإضافي اللازم لهذه الأجهزة ذات الدارة المغلقة ، هي عملية تبادل كاتيونات الصوديوم .

تتراوح كميات المياه اللازمة للتبريد في مختلف المصانع الكيمائية من جزء بسيط من إجمالي استهلاك الماء إلى ما يزيد عن 90 % منه . فإذا كان هذا الماء ، سيستخدم مرة ثم يهدر ، فقد نحتاج فقط إلى :

(1) عدم المعالجة ، أو (2) المعالجة بالكلور ، أو (3) المعالجة الحمضية .

وإذا كان سيعاد استخدامه عن طريق تجديد دورانه بواسطة أبراج التبريد ، فسوف نحتاج عادة إلى معالجته ، لمنع تشكل القشور والناميات العضوية . وقد تتم المعالجة بطريقة الكلس الباردة ، أو طريقة الكلس الباردة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، أو طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو بالطريقة الحمضية . كما يمكن أن نحتاج أيضاً إلى معالجة الماء الدائر .

يتميز دليل لانجلير Langelier Index بأهمية في تقريب درجة الحرارة المطلوبة ، لكن يجب أن نتذكر ، عند استخدامه ، بأن محتوى ثاني أكسيد الكربون في الماء الإضافي يضيع كله عملياً عند أول عبور . وينبغي إجراء تعديلات نهائية ، تقوم على أساس ملاحظة النتائج عند اختبار الملحقات ، وأجزاء الأنابيب القابلة للنزع ، والموضوعة عند نقاط استراتيجية في جهاز التبريد .

إن الشروط الأساسية لمياه المعالجة مختلفة جداً ، لكنها بصورة عامة ، يجب أن تكون نقية ، عديمة اللون ، خالية من الحديد ، والمنجنيز ، وكبريت الهيدروجين ، والناميات العضوية وتعتمد الحاجة ، أو عدم الحاجة إلى المعالجة الإضافية إلى حد كبير ، على المواد الكيماوية المنتجة ، والتفاوتات المسموحة لمختلف الشوائب ، وتركيب ماء المعالجة . لا يحتاج ماء المعالجة إلى معالجة إضافية إذ كان محتواه المعدني غير مرتفع جداً ، وإذا كانت المادة الكيمائية المنتجة مادة تجارية من غير حدود مسموحة صارمة جداً وعندئذٍ ، كثيراً ما يحدث أن ماء المعالجة ، إذا لاقى طلبات عامة لا يحتاج إلى معالجة إضافية .

قد تكون أملاح المغنيزيوم والكلسيوم مثيرة للاعتراض أما أملاح الصوديوم فليست كذلك ، وهي حالة يستخدم فيها جهاز مبادل كاتيونات الصوديوم لتيسير الماء. وفي إنتاج المواد الكيميائية ،والأدوية والمستحضرات الصيدلانية ، النقية كيميائياً ، استخدم الماء المقطر على نطاق واسع ، ولكن عملية التقطير استبدلت ، و إلى حد كبير ، بطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، الأكثر اقتصادية .

ملاحظة : إضافة إلى استخداماتها في معالجة الماء تستخدم المُبادلات الشاردية على نطاق واسع ، في مجموعة أخرى من الاستعمالات ،من بينها: إزالة الأيونات غير المرغوبة ، تركيز الأيونات المهمة إضافة أيونات نوعية ، فصل مزائج الأيونات ، فصل الأتربة النادرة ، استرداد المعادن الثمينة وبعض المعادن القاعدية ، كمادة حفّازة ، التي منها يكون في الأكسدة التالية ، وفي إنتاج اليورانيوم ، وفي معالجة المياه المهدورة الخ .

وفي تكرير الملح ، وتصنيع المواد الكيماوية من المياه المالحة ومياه البحر ، كثيراً ما تستخدم معدات وطرائق معالجة الماء ، لمعالجة الماء المالح وماء البحر ، ومن بينها التخثير ، والترسيب ، والترشيح ، وإزالة الحديد وإزالة الكلس

والمنجنيز . وقد تتألف المعدات المستخدمة من أحواض ترسيب ، ومعدات تخثير ، وترسيب ، وترشيح ، ومن معدات معالجة الكلس على البارد ، الخ .

مصانع التقطير : Distilleries

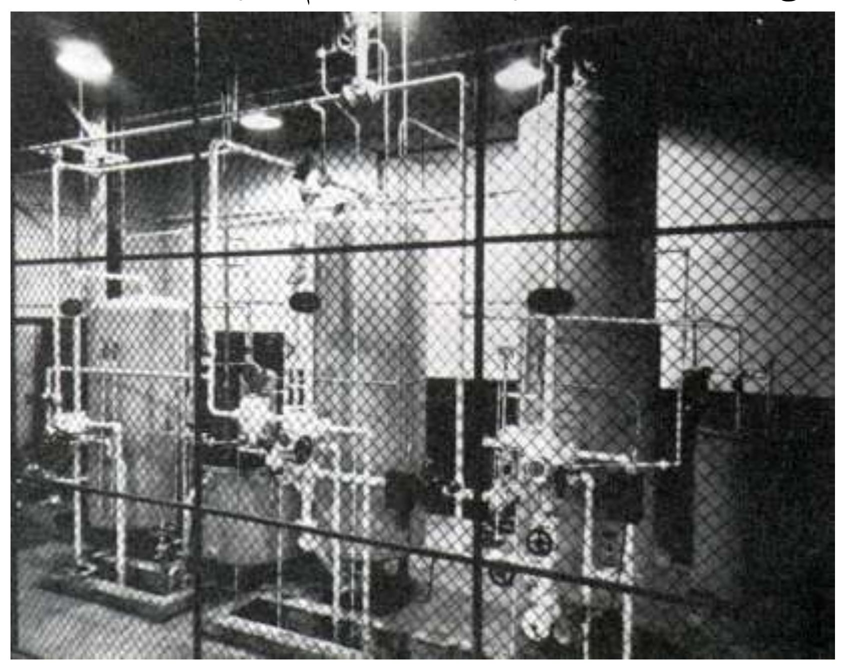
يختلف استهلاك الماء ، إلى حد كبير في مصانع التقطير ، وذلك اعتماداً على نمط أجهزة التقطير المستخدمة ، وطرق معالجة المياه . فبعض المصانع مثلاً ، تستعمل كثيراً من ماء التبريد مرة واحدة ثم يهدر ، في حين تقوم مصانع أخرى بإعادة استخدام جزء كبير منه . والرقم الشائع يبلغ حوالي 600 جالوناً من الماء لكل بوشل (= 8 جالوناً أو 32,5 لتر) من جريش الحبوب . وبصورة عامة يجب أن يكون الماء المستخدم في مصنع التقطير نقياً ، عديم اللون ، خالياً من الحديد ، والمنجنيز ، والطعوم والروائح الغريبة ، والبكتريا وتفضل المياه الجوفية على المياه السطحية ، وخصوصاً في أعمال التبريد ، بسبب انخفاض درجة حرارتها صيفاً .

بعض العسرة مرغوبة عادة في المياه المستخدمة للجرش ، وكثيراً ما يكون عسر البيكربونات ، بكميات معتدلة ، ذا أهمية ، كمنظم في المحافظة على قيمة مناسبة للـ PH أثناء عملية التخمر . لا تعالج هذه المياه عادة ، إذا كانت نقية ، وخالية من المقومات الغير مرغوبة . لا تقوم بعض مصانع التقطير بمعالجة الماء المستخدم في مبّردات الجرش ، حتى عندما يكون عسراً جداً بل تعمل ، بدلاً من ذلك على القيام بتنظيفات دورية للقشرة في سلسلة الأنابيب الملتفة . وتقوم مصانع أخرى بمعالجتها بحمض الكبريت ، ثم تؤول إلى الهدر بعد مرورها فوق المبرّدات . وقد أثبتت المعالجة الأولية بالبولي فوسفات فعاليتها في بعض الحالات .

إن تفادي تشكل القشور في أجهزة ومكثفات التقطير , للجعة مهم جداً لأن القشور حتى لو كانت بكميات قليلة نسبياً فسوف تسبب تقلصاُ خطيراً في الإنتاج. وتختلف طرق معالجة مياه تبريد هذه المكثفات في مختلف مصانع التقطير فيستخدم بعضها معالجة الماء ، تحت الضغط بحمض الكبريت ، ويستخدم الماء

المعالج مرة واحدة ثم يمضي إلى الهدر والمعالجة تحت الضغط مهمة ، لأن ثاني أكسيد الكربون المتشكل في التفاعل ، يبقى على شكل محلول ، وتعمل تأثيراته المثبطة لتكوّن القشور وعلى إنقاص الجرعات اللازمة من حمض الكبريت . وتستخدم أيضاً طريقة الكلس البارد تليها جرعة صغيرة من حمض الكبريت . ولكن هذه الطريقة لا تحظى باستحسان عام ، خوفاً من ارتفاع درجة الحرارة ، أثناء المرور في المعدات ، حتى ولو كان الارتفاع بسيطاً نسبياً ، وحيثما تعمل التوازنات في الحرارة على تسهيل الإفادة من ماء تبريد المكثفات لتغذية المراجل ، بعد مرورها عبر المكثفات فقد تستخدم طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم أو طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين . وفي بعض مصانع التقطير ، يتم الحصول على إعادة فعالة الاستخدام مياه التبريد للتبريد المتتالي في مختلف درجات الحرارة .

بما أن مصانع التقطير لا تستخدم إلا القوارير الجديدة ، فإن ما نحتاج إليه ، هو الشطف فقط ، وإزالة عسرة هذا الماء ليست ضرورية عادة . وينطبق هذا أيضاً على المياه المستخدمة لأغراض الشطف العام الجارف .



الصورة 4 – 5 وحدة لإزالة المعادن والطعم واللون باستعمال المبادلات الشاردية الأنيونية والكاتيونية والفحم الفعال

يجب أن تكون مياه نقض التصميد Deproofing خالية من المادة المعدنية ومن الطعوم والروائح أيضاً . وتعرف هذه المياه باسم good odor good taste (T. G. O) أي (الرائحة الطيبة ، الطعم الطيب) . والتخلص من الطعم والرائحة مهم على نحو خاص ، لأن مجرد آثار قليلة منهما قد تفسد إلى حد خطير نوعية الناتج . سابقاً كان الماء المقطر ، الذي يتم ترشيحه من خلال الكربون النشط بعد التقطير ، يستخدم لهذا الغرض ، لكنه استبدل على نطاق واسع ، بالماء المنزوع المعدنية ، وتتضمن سلسلة المعدات عادة مرشّحة الكربون النشط . والعمليات المستخدمة ، في مصانع التقطير ، لتيسير مياه تغذية المراجل هي عادة واحدة من معالجات تيسير الماء على الساخن ، إما بنمط المرحلة الواحدة أو المرحلتين ، وأيضاً بكلتا طريقتي المعالجة بتيادل كاتيونات الصوديوم والهيدروجين .

وحدات الطلاء بالكهرباء : Electro Plating Plants

عموماً تستعمل المياه في هذه الوحدات لـ :

1 . التنظيف .
2 . الشطف بعد التنظيف .
3 . إعداد مغاطس الطلاء بالكهرباء .
4 . الشطف بعد الطلاء .

وعلى الرغم من استخدام المذيبات العضوية إلى حد ما ، لتنظيف المعدن قبل طلائه ، فإن المنظفات الشائعة هي المنظفات القلوية . وتستخدم وحيدة أو في مجموعات مؤتلفة متعددة . ومن هذه النماذج : صابون القلفونية ، ورماد الصودا والصود الكاوي ، وفوسفات ثلاثي الصوديوم ، وبيرو فوسفات رباعي الصوديوم ، وميتا سيليكات الصوديوم . وبما أن الماء العسر يسبب مع كافة هذه المواد القلوية رواسب ونفايات بكميات ملحوظة من عوامل التنظيف ، فإنه ينبغي أن

يكون الماء المستخدم في مغاطس التنظيف بعسرة الصفر . علاوة على ذلك إن بعض الرواسب المتشكلة قد تلتصق بالمعدن ، فتفشل في إزالتها ، فتسبب حفراً في الطلاء .

ومن الواضح أيضاً أن يكون الماء ، الذي يستخدم للشطف بعد مغطس التنظيف القلوي بعسرة صفر ، وإلا فإنه سيتفاعل مع الماء القلوي المركز فوق القطع المعدنية . وقد يكون أفضل بالنسبة لأغراض كثيرة ، الشطف أولاً بماء عسرة صفر ، لإزالة محاليل التنظيف العالقة ، وبعد ذلك بماء نزعت معادنه ، لإزالة أملاح الصوديوم . والمياه العسرة غير مرغوبة في المغاطس القلوية للطلاء بالكهرباء بسبب ما تحدثه من رواسب مزعجة . وفي مغاطس الطلاء الحمضية حيث تستخدم الكبريتات ، وحمض الكبريت فإن تركيز المغطس قد يؤدي إلى تشكل قشرة الكلسيوم فوق أجهزة التسخين ، وإلى رواسب مرقطة فوق المعدن . واستخدام ماء الشطف العسر الذي يحمل محتويات عالية من البيكربونات ، يحتاج أيضاً إلى تعديلات متكررة لقيمة الـ PH في المغطس . يفضل الماء المنزوع المعادن منه لإعداد مغطس الطلاء . وفي الشطف النهائي للمعدن بعد طليه كثيراً ما تسبب المياه العسرة خطوطاً قبيحة المنظر وتستخدم لهذا الغرض على نطاق واسع المياه بعسرة صفر ، وستكون المياه منزوعة المعادن أفضل أيضاً . العكارة في الماء غير مرغوبة وكذلك الحديد وقد يسبب ثاني أكسيد الكربون هشاشة وتقصفاً في الأطراف ، عند الطلاء بالنيكل ، وقد تخفف أملاح الصوديوم من قدرة الترسيب المستوي . والكلوريدات مؤذية في مغاطس سيانيد الزنك للطلاء . والكلوريدات والكبريتات والكربونات مؤذية في الطلاء بالفضة ، ولا ينبغي استخدام أي شيء عدا الماء منزوعاً معدنه ومحتوى CO_2 الحر بنسبة 10 ppm .

وفي الطلاء بالكروم تستخدم على نطاق واسع المياه منزوعة المعادن بطريقة تبادل الأيونات لإعداد مغطس الطلاء وللشطف قد يمكن إزالة المواد الملوِّثة المعدنية ، التي تتشكل في المغطس منه ، ومن مياه الشطف بطريقة

تبادل كاتيونات الهيدروجين ، ويمكن استعادة حمض الكروم من مياه الشطف ، ومن المياه المهدورة عن طريق الجمع بين طريقة تبادل الأنيونات وطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين . وفي عملية الاسترداد هذه يلتقط حمض الكروم أولاً من قبل مبادل الأنيونات وعند الوصول إلى نهاية شوط العملية ، يتولد مبادل الأنيونات مع الصود الكاوي فيزيل حمض الكروم ، كملح صوديوم له ، وعندئذٍ يتحول هذا إلى الحمض بعملية تبادل كاتيونات الهيدروجين .

تشتمل معدات معالجة المياه التي تستخدمها مختلف وحدات الطلاء بالكهرباء على معدات التخثير ، والترسيب ، والترشيح ، والتهوية ، والمعالجة بالكلور ، وإزالة الحديد والمنجنيز ، ومعدات التيسير ونزع المعادن والمياه الكبريتية تهوّى أولاً ، ثم تعالج بالكلور وتتضمن معدات تيسير الماء ، معدات تبادل كاتيونات الصوديوم ومعدات تبادل كاتيونات الهيدروجين والكلس صودا على الساخن .

الصناعات الغذائية : Food Industries

يستخدم الماء في الصناعات الغذائية لعدد من الأغراض كتغذية المراجل والتبريد والغسل ، والشطف الجارف ، والمعالجة ، ولأغراض عامة . والشروط التي يجب توفرها في مياه تغذية المراجل ، ومياه التبريد ، هي نفس الشروط التي يجب توفرها في المياه التي تستخدمها الصناعات الأخرى . يجب أن تكون المياه التي تستخدم للغسل ، والشطف الجارف ، وللأغراض الأخرى العامة ، نقية ، خفيفة اللون ، خالية من الحديد والمنجنيز ، ومن الطعوم والروائح الغير مرغوبة ، والبكتريا ويفضل أن تكون المياه المستخدمة في مياه الغسل بعسرة صفر وخصوصاً إذا استخدمت مع الصابون أو مع مطهرات أخرى قلوية .

ومواصفات مياه المعالجة عموماً هي : النقاوة ، خلوها من اللون ، خلوها من الحديد ، والمنجنيز ، والطعوم والروائح الغير مرغوبة ، ومن نوعية جرثومية مقبولة بلا جدال حتى عند إخضاع المنتجات الغذائية لعملية التعقيم . وقد تختلف

الشروط الأخرى لمياه المعالجة ، حسب استخداماتها النهائية . فمثلاً قد تكون عسرة الكبريتات عالية ، وقد تكون هذه المياه ممتازة بالنسبة لعمليات التخمير لكنها لا تصلح لغرض تعليب البازلاء ، والفاصولياء ، العدس .ونصف في الصفحات التالية عدداً من الشروط اللازمة لبعض الصناعات الغذائية :

1. المخابز Bakeries :

يجب أن تكون المياه المستخدمة في المخابز نقية عديمة اللون ، والرائحة ، والطعم ، وخالية من الحديد والمنجنيز ، والبكتريا . إن بعضاً من أملاح الكلسيوم ضرورية لإحداث التخمر المناسب . وتضاف هذه الأملاح إلى خميرة المواد الغذائية والتي من مقوماتها كبريتات الكلسيوم . كثيراً ما يستخدم الماء الميسر لخبز الكعك ، لأنه يعطي كما يقال ناتجاً أفضل وأكثر انتظاماً .

يفضل استخدام الماء بعسرة صفر لأغراض التنظيف في جميع أرجاء المخبز ، وتستخدم المخابز على نطاق واسع ، أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم . كما تستخدم هذه الطريقة عادة لمعالجة مياه تغذية المراجل على الرغم من استخدامها أيضاً لطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، وطريقة الكلس صودا الساخنة . تجب المحافظة على انخفاض تركيز المياه الملحية التي تستخدم للمراجل ، وذلك لتفادي احتمال حدوث فوق الحمل Carry- Over .

لا يجدد عادة استخدام ماء التكثيف ، وخصوصاً لأن الزيت ، وإن كان بمقادير ضئيلة ، يسبب تلوث البخار المستخدم في التلميعglazing . تستخدم المخابز أيضاً إضافة إلى أنماط المعدات التي ذكرناها ،أجهزة التخثير ، ومرشحات الرمل الضغطية ، ومعدات إزالة الحديد و/ أو المنجنيز .

2. مصانع تعليب الأطعمة Canneries :

انظر الجدول 5.2 تحت عنوان (تعليب الأطعمة) بخصوص الكميات اللازمة من الماء لتعليب مختلف أنواع الفاكهة والخضار . ينبغي أن يكون ماء

التعليب نقياً ، عديم اللون ، خال من الحديد والمنجنيز ، والطعوم والروائح الغير مرغوبة ، و البكتريا .

حتى في حال تعقيم النواتج النهائية بعد ختمها بشكل محكم . إضافة إلى ذلك يجب أن يكون الماء المستخدم لتعليب البازلاء ، والفاصولياء ، والعدس (البقول) خالٍ من العسرة لأن هذه تتحد مع بعض من المادة البروتينية الموجودة فتسبب قساوة الناتج ، وتحط من درجته ، وبقدر ما يتعلق الأمر بالفاكهة أو بالنواتج الحمضية فإن لعسرة الماء فيما يبدو تأثيراً ضئيلاً ، أو أنها لا تحمل أي تأثير ، إلا في حالات قليلة استثنائية . تتفاعل الأوكسالات الموجودة بصورة طبيعية في الشمندر ، مع كلسيوم المياه العسرة ، لتشكل رواسب مبيضّة من أوكسالات الكلسيوم ، تشاهد خصوصاً عند قطع الشمندر ولكن عدداً من الخضار لا يتأثر على نحو ملحوظ ، كما يبدو ، بعسرة الماء .

وفي مصانع التعليب حيث يتم تعليب البازلاء ، والفاصولياء ، والعدس يجري على نطاق واسع تشغيل منشآت تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، وتستخدم الماء الميسر عادة ، ليس فقط للبقول ولتغذية المراجل ، والأغراض العامة ، بل أيضاً لجميع المنتجات الأخرى ، التي تقوم هذه المصانع بمعالجتها . وعندما يستمد المورد المائي من بئر عميقة ويكون حاملاً للحديد ، فإن أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم تستخدم كثيراً لإزالة العسرة والحديد من الماء وفي حالات أخرى تستخدم أجهزة التهوية ، وبعدها أجهزة الترشيح لإزالة الحديد . أما بخصوص المياه السطحية فستخدم طرائق التخثير ، والترسيب ، والترشيح .

كثيراً ما تظهر الصفائح متلألئة من الخارج عند استخدام الماء ذي القلوية العالية ، والميسر بصورة كاملة وفي حالات كهذه يتوجب تخفيف القلوية إلى حوالي 50 ppm ، وهو الأفضل ، ويتم هذا عن طريق المعالجة المسبقة بجهاز تيسير الكلس البارد ، أو تيسير جزء من الماء بمبادل أيونات الهيدروجين ومزج

هذا الصبيب بما يكفي من الماء الميسر بمبادل كاتيونات الصوديوم ، وذلك لمعادلة حموضته ، والحصول على الدرجة المرغوبة من القلوية .

3ً. صناعة الحمضيات Citrus Fruit Industry :

تستخدم أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، على نطاق واسع لتيسير الماء المستخدم لغسل الفاكهة الحمضية لأن الماء اليسر ينظف بشكل أفضل من الماء العسر ،ويحسن ، إلى حد كبير ، مظهر الناتج . وكثيراً ما يستخدم هذا الماء الميسر للمراجل ،والتعليب ، والاستخدامات الأخرى في المصانع . يجري أيضاً تشغيل مبادلات الأيونات في صناعة الحمضيات وذلك لمعالجة عصارة القشور لصنع البكتين وحمض السيتريك والشراب .

4ً. مصانع الألبان Citrus Fruit Industry :

يجب أن تكون المياه التي تستخدم في مصانع الألبان نقية ، عديمة اللون ، خالية من المنجنيز والحديد ، والطعوم والروائح ومعقمة ، وعسرتها صفراً إن إجمالي كمية الماء المستخدمة في مصنع حديث لتعبئة قوارير الحليب ، تبلغ تقريباً من حوالي 100جالوناً لصفيحة الحليب (الصفيحة = 44 كوارتاً) . ويسخن ما نسبته تقريباً من 40. 50 % من هذا الماء . والماء العسر إضافة لكونه يشكل القشرة في المراجل ، وأجهزة تسخين الماء، وشبكة الأنابيب ، ومعدات التثبيت ، فإنه يتفاعل مع المادة الكاوية التي تستخدم في أجهزة غسل القوارير ليشكل قشرة تسد جهاز إعادة الدوران من مضخات ، وأنابيب وحنفيات كما يشكل رواسب بشعة المنظر على القوارير . وهذا الماء مزعج جداً في أجهزة التعقيم لأن درجة حرارة الماء المستخدم تكون 100 مْ تقريباً . والماء العسر مزعج أيضاً في أجهزة غسل الصفائح ، إذ يؤدي إلى تشكيل (حصاة الحليب) .

وبما أن مصانع الألبان ، تستهلك بنفسها الجليد الذي تنتجه فإن مظهره لا يشكل عاملاً مهماً ، ولذلك تكون معالجة الكلس غير ضرورية . وفي مصانع الألبان يستخدم نمط جهاز تيسير الماء بالزيوليت على نحو ثابت تقريباً ، ويستخدم الماء الميسر للمراجل ، وأجهزة تسخين الماء ، ولأجهزة غسل القوارير والصفائح ، ولأغراض التنظيف العامة . وتستخدم أنماط أخرى من معدات معالجة الماء ، هي: معدات التخثير والترسيب والترشيح والمعالجة بالكلور ومعدات إزالة الحديد والمنجنيز (ويتم هذا عادة بجهاز تيسير الماء بالزيوليت) ، وفي بعض الحالات بمعدات الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين أو بمعدات معالجة الماء بالكلس صودا على الساخن .

5ً. صناعة الجليد : Ice Manufacture

يجري تصنيع الجليد في عدد من مصانع الأغذية إضافة إلى المصانع المخصصة حصراً لتصنيعه ، أو في مصانع التخزين البارد . يجب أن يكون الجليد الجيد القابل للبيع قوالب شفافة كالزجاج ، عديمة اللون ، خالية من الفقاعات ، على شكل جليد ، ثقيلة اللب بقدر الإمكان . كما يجب أن لا تتناثر عند المعالجة .

يجب أن يكون الماء المستخدم نقياً عديم اللون والرائحة والطعم وخال من الحديد والمنجنيز ومن نوعية جرثومية مقبولة ولا يجب أن يكون محتواه من الأملاح المعدنية عالياً. والاعتراض على العكارة واللون والطعم والرائحة والمنجنيز والحديد والبكتريا واضح جداً إلى درجة لا يحتاج معها إلى تعليق . وعسرة البيكربونات غير مقبولة أبداً ، لأن عسرة كربونات الكلسيوم المغنيزيوم تترسب إلى حد كبير عند التجمد ، فتتشكل رواسب رملية قذرة . أما عسرة اللاكربونات فلا

تشكل راسباً لكنها لا ينبغي أن تكون موجودة بكميات كبيرة جداً، لأنها تفعل كأملاح الصوديوم .

يفضل أن تكون عسرة البيكربونات في الماء دون 70 ppm . وعندما تكون نسبة بيكربونات الصوديوم والكبريتات ضعف الرقم المذكور ، فإنهما تعتبران كالكلوريدات ، غير مرغوب فيهما . تسبب التراكيز العالية جداً من هذه الأملاح ، وخصوصاً بيكربونات الصوديوم نتؤات بيضاء ذات ألباب ثقيلة تعوق التجمد وقد تسبب التناثر إن تراكيز الأملاح دون20 الـ غ /جالون 343 ppm ضرورية عادة للجليد القابل للبيع ، دون 15غ / جالون 257 ppm الجيد ، ودون 10غ / جالون 171 ppm للجليد من النوع الأول .

يعتمد اختيار طريقة معالجة الماء إلى حد كبير على تركيبه الخام . فإذا كان محتواه من الأملاح منخفضاً فإنه يمكن استخدام طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وتستخدم على نطاق أوسع طريقة الكلس الباردة (بدون الصودا) لتخفيف محتويات عسرة البيكربونات . وتفيد طريقة تبادل الهيدروجين مع المياه التي تحتوي على كميات عالية من بيكربونات الصوديوم ، لأنها تزيل البيكربونات ، يمكن عن طريق الإمرار الجزئي والمزج لبعض المياه غير المعالجة مع صبيبها ، الحصول على أي درجة قلوية نريدها . وتستخدم مع بعض المياه طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، وتزودنا هذه الطريقة بنوعية ممتازة من الجليد . وتستخدم مياه الآبار على نطاق أوسع وحيث تستخدم المياه السطحية تستعمل معدات الترشيح والترسيب ، والتخثير ، ويجري طبعاً تطبيق المعالجة بالكلور عند الحاجة . تسبق عملية تبادل كاتيونات الهيدروجين غالباً بمعالجة الكلس ، وتستخدم على نطاق واسع ، طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، وطريقة الكلس صودا لتغذية مياه المراجل .

6ً. مصانع تعليب اللحوم : Meat - Packing Plants

تعليب اللحوم صناعة ضخمة تشمل عدداً كبيراً من النواتج الرئيسية والثانوية . وتستخدم كميات كبيرة من الماء لمختلف الأغراض ، التي من بينها تغذية المراجل ، والتبريد ، والغسل ، والغسل الجارف ، وعمليات تنظيف أخرى ، والتعليب ، وعمليات معالجة أخرى وتصنيع الهيدروجين (لعمليات الهدرجة) ، والأكسجين ، وللاستخدام العام . ينبغي أن يكون الماء بأجمعه ، الذي يستخدم في عمليات تعليب اللحم نقياً ، عديم اللون والرائحة والطعم ، خالياً من الحديد والمنجنيز والبكتريا وتكون معدات التخثير، والترسيب ، والترشيح ، والمعالجة بالكلور ضرورية ، حيث تستخدم المياه السطحية. وقد تحتاج المياه الجوفية إلى معدات إزالة الحديد و/ أو المنجنيز ، وأجهزة التهوية ولمختلف أنماط معدات التيسير .

فإذا لبى الماء الشروط الواردة أعلاه فإن أكثره الذي يستخدم للشطف الجارف والتنظيف ولعمليات أخرى عامة في المصنع ، سوف لن يحتاج إلى معالجة إضافية . يجب أن تكون كافة المياه التي تستخدم في عمليات الغسل وعمليات القلوي الأخرى بعسرة صفر ، وتستخدم أجهزة التيسير بالزيوليت على نطاق واسع .

وعند غسل اللحم ، بقصد حفظه في الخل يقال بأنه يمكن ، بالماء الميسر بالزيوليت الحصول على لون أفضل من اللون الذي يمكن الحصول عليه بالماء العسر . ومن أجل المياه المستخدمة في التعليب ، انظر (مصانع تعليب الأطعمة) أعلاه . وفي بعض المصانع تستخدم أجهزة التيسير بالزيوليت أيضاً لمياه تغذية المراجل ، وطريقة الزيوليت لتيسير الماء لأغراض أخرى .

7. مصانع تكرير زيت الطعام : Edible - Oil Refineries

تنتج مصانع تكرير زيت الطعام ضرباً من النواتج مثل زيوت السلطات والطبخ والزيوت المهدرجة ،والصابون بأنواعه . ومساحيق الصابون ومساحيق الغسل ، ومختلف النواتج التركيبية ، وعوامل الترطيب ،الخ . فإذا لبّت مياه

المعالجة الشروط العامة ، في كونها نقية ، عديمة اللون والرائحة والطعم ، خالية من الحديد والمنجنيز ومن نوعية جرثومية مقبولة ، فإن معظمها لا يحتاج إلى معالجة إضافية .

يجري ، إلى مدى محدد ، تيسير بعض من مياه المعالجة ، كتلك التي تستخدم في نواتج الصابون السائلة ، بطريقة مبادل كاتيونات الصوديوم ، أو في بعض الحالات بنزع معادنها بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين أو طريقة الكلس صودا على الساخن .

8ً . نواتج النشا والذرة : Starch and Corn Products

في إنتاج النشا يزيد الماء العسر من محتوى الرماد . وقد يكفهر لون شراب الذرة ، إذا كانت محتويات المغنزيوم عالية في مياه المعالجة .

ويمكن التغلب على هذه المصاعب بماء عسرته صفراً . يجب أن تكون مياه المعالجة خالية من إزعاج الحديد والرائحة ، والبكتريا . ولتهيئة مياه المعالجة يمكن استخدام معدات التخثير ، والترسيب ، والترشيح ، والمعالجة بالكلور ، وإزالة الحديد والمنجنيز إضافة إلى أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم .

وفي تصنيع الديكستروز ، اكتشف أن نزع المعادن عن طريق نزع الأيونات يزيد الإنتاج ويحسن النوعية . ولمعالجة مياه تغذية المراجل ، تستخدم عادة طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وطريقة الكلس البارد ومبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، وأجهزة تيسير الماء بمعالجته بالكلس على الساخن .

9ً – صناعة السكر : Sugar Industry

تستخدم المياه في هذه المصانع بصورة رئيسية للمراجل البخارية ، وللرافعات ، ولأغراض التبريد وأكثر المياه المستخدمة هي من موارد سطحية . وتستخدم معدات التخثير والترسيب والترشيح ، والمعالجة بالكلور ، ومعدات إزالة الحديد والمنجنيز ، وأجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم . وفي مصانع التكرير تستخدم معدات مياه المعالجة . وفي بعض الحالات أيضاً للمعالجة

البدائية لمياه تغذية المراجل . وفي هذه المصانع يجري عادة تشغيل المراجل بناتج التكثيف من المكثفات وبكميات بسيطة من الماء المعالج . ولكن تلوث ناتج التكثيف بالسكر ، قد يؤدي إلى إرغاء خطير في المراجل ، فتلجأ بعض مصانع التكرير ، لتفادي هذه الصعوبة إلى استخدام مبادل كاتيونات الصوديوم ، أما ماء المراجل الميسر بالكلس صودا على الساخن . إنّ تحوّل السكر بالكهارل electrolytes معروف تماماً ، وفي المصانع القريبة من شاطئ البحر من المهم تفادي التلوث بمياه البحر .

ملاحظة : اكتشف أن نزع معادن شرابات السكر سواء كانت شرابات قصب أو شمندر تزيد من ناتج السكر بصورة جوهرية . ولطريقة تبادل الأيونات تطبيق آخر مهم ، هو إزالة الرصاص من الشراب .

مصانع الغاز Gas Plants :

تستخدم المياه في مصانع الغاز لتغذية المراجل والتبريد ،والغسل ، والمعالجة. ويجري تيسير مياه تغذية المراجل بمختلف الطرق ، التي تشمل ، طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وطريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، وطريقة الكلس صودا الساخنة . يعاد تدوير معظم مياه التبريد عبر أبراج تبريده ويتم تثبيط تشكل القشور بالتيسير ، إما بطريقة الكلس الباردة أو بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، ويحفظ الماء الدائر عادة خالياً من الناميات الطحلبية عن طريق المعالجة بالكلور . نحتاج عادة في بعض المصانع حيث نستخدم المياه السطحية لمرة واحدة ، ثم نهدرها ، إلى معالجة بسيطة بعد التنقية والمعالجة بالكلور.

في المحطات الضاغطة حيث تستخدم محركات داخلية الاحتراق ، يتم تيسير ماء التبريد بطريقة الكلس الباردة ، أو بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ويعالج الماء ، المتجدد الدوران ، بالكلور عند اللزوم . ويتم تخليص المياه الجوفية التي تحتوي على الحديد أو المنجنيز من هذه المحتويات :

(1) بتهوية المياه قبل وصولها إلى جهاز التيسير ، إذا استخدمت طريقة الكلس صودا الباردة .

(2) إذا استخدمت عملية تبادل كاتيونات الصوديوم فيتم تخليصها بفعل مبادل الكاتيونات ، الذي يزيل هذه الشوائب مع العسرة في آن معاً .

تجري عادة تهوية المياه الكبريتية ، ومعالجتها بالكلور ، وذلك بالإضافة إلى أية معالجة أخرى .

مصانع الحديد والفولاذ : Iron and Skill Mill

تستخدم في مصانع الحديد والفولاذ كميات كبيرة من الماء لعدد من الأغراض : لمياه تغذية المراجل ولمكثفات التبريد ، وواجهات الأفران ، وعمليات أخرى للتبريد، ولعمليات التنظيف الحمضي ، والشطف ، والطلاء بالكهرباء ... الخ ، وللاستعمال العام . وحيثما تستخدم المياه السطحية تشمل طرق المعالجة : الترسيب والمعالجة بالكلور والتخثير والترويق والترشيح وإزالة الحديد والمنجنيز والتيسير . تشمل معدات معالجة مياه تغذية المراجل : أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، وأجهزة التيسير بالكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، وأجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على الساخن ، وغالباً على مرحلتين.

تتضمن معالجات تبريد الماء : الترسيب ، والتخثير والترويق ، والترشيح ، والمعالجة بالكلور ، وإزالة الحديد والمنجنيز ، والمعالجة الحمضية، والتيسير بطريقة الكلس الباردة وطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم . يمكن حذف مرحلة الترشيح ، عند تخثير بعض المياه السطحية وترويقها .

لا يجري عادة تيسير الماء الذي يستخدم للتنظيف الحمضي ولكن يفضل تيسير هذا الماء المخصص للتنظيف قبل عمليات الطلاء بالكهرباء على الساخن ، وكذلك كل المياه المستخدمة للتنظيف بالقلوي ، وعمليات الشطف التالية . ومن أجل عمليات الطلاء بالكهرباء ، انظر (الطلاء بالكهرباء) يجب أن تتوفر الشروط المطلوبة في المياه المستخدمة لأغراض عامة لكنها غالباً لا تعالج إلى حد أبعد .

مصانع الورق و عجينة الورق : *Paper and - Pulp Plants*

تختلف إلى حد كبير كميات المياه المستخدمة في مصانع العجينة والورق وكما رأينا في الجدول 2–5 ، والتي يعبر عنها بالجالونات الأمريكية للطن الواحد من الناتج . ويعتمد هذا ليس فقط على نمط المصنع وعلى نمط النواتج المصنّعة وإنما أيضاً على مدى فعالية معالجة المياه البيضاء وإعادة استخدامها . وبمقدار ما يتعلق الأمر بالشوائب الموجودة في مياه المعالجة ، فإن التفاوتات المسموحة تختلف مع نمط الناتج المصنَّع . وقد اقترحت الجمعية التقنية لصناعة العجينة والورق (Technical Association of the Pulp and Paper Industry TAPPI) تفاوتات مسموحة تجريبية للعكارة ، واللون والحديد والمنجنيز ، كما تظهر في الجدول التالي :

الجدول 5.3 التفاوتات المسموحة في صناعة العجينة والورق

الشوائب PPM	المعايير المقترحة للنواتج من الدرجة الجيدة	المعايير المقترحة للنواتج من الدرجة الأدنى
العكارة	5	25
اللون	5	15
الحديد Fe	0,1	0,2
المنجنيز Mn	0,05	0,1

إذا زادت كميات ثاني أكسيد الكربون الحر عن 25 ppm ، فقد تؤثر إلى حد خطير على الشكل الصفحي فوق مكنات الورق . وكبريت الهيدروجين ، مادة أكاّلة للمعادن ، وقد يؤثر حتى بكميات بسيطة على حياة السلك فوق الفور درينيير Four drainer أو المكنات الأسطوانية . وعلى الرغم من عدم تعيين تفاوتات مسموحة لكبريت الهيدروجين ، فإنه حتى 0,3 ppm منه ، والتي يعبر عنها بـ H_2S ، فقد ثبت بأنها أكاّلة وينصح بإزالتها بمعالجة لاحقة بالكلور ، حتى لو

كانت بمقادير ضئيلة ، بقيت بعد عملية التهوية أو نزع الغاز . والقلويات العالية غير مرغوب فيها ، وتعمل على تبديد الشّب . وقد ثبت أن المتعضيات المجهرية مزعجة في أعمال المصنع ، وهنا نحتاج إلى الكلور ، أو إلى مواد مطهرة أخرى ، ليس فقط لمياه المعالجة في الخطوط الرئيسية ، بل أيضاً لأجهزة إعادة تدوير المياه البيضاء . ينبغي تفادي احتجاز الورق للروائح وخصوصاً عند إعداده للصّرّ ، ولأغراض تغليف المواد الغذائية . تشكل عسرة البيكربونات وخصوصاً عسرة بيكربونات الكلسيوم ، قشرة على الشبك ، وسلك الفور درينيير ، والسطوح . والمكثفات ، والمضخات ، وعلى أجهزة إعادة الدوران الخ ، أعني أي ماء يسخن أو يبخّر ، وتسبب أيضاً تبديد الشب . وغالباً ما نحتاج لإزالة هذه الرواسب إلى تكرار استخدام التحميض ، وهي عملية تسبب تقصير عمر المعدات . تشكل كربونات الكلسيوم ، في صهاريج التبييض قشرة تحمل مادة التلوين معها ، حيث وتميل هذه القشرة إلى التفكك على شكل كتل حائلة اللون ، تسبب بالتالي تلويث العجينة . لا يحمل المغنزيوم هذا الميل ، يميل هيدروكسيد المغنزيوم المتشكل إلى الانتشار في العجينة بصورة متساوية .

تتسبب عسرة البيكربونات واللاكربونات بترسيب ريزينات Resinates غير ذوابة . وعند غسل العجينة تكون هذه الريزينات المترسبة مزعجة غالباً ، وتسبب صعوبات في عمليات التبيّض اللاحقة . ويميل شكلا العسرة كلاهما إلى زيادة محتوى الرماد ، وهو أمراً ليس مرغوباً في بعض أصناف العجين ، وخصوصاً معاجين ألفا. سيلولوز ، كتلك التي تستخدم في تصنيع الرايون ، واللدائن ، والمتفجرات . تعتمد مصانع الورق والعجينة في اختيارها لمعدات معالجة المياه على طبيعة المورد المائي ، وعلى الشوائب الموجودة وعلى الشروط المطلوبة لمختلف الاستخدامات النهائية . فتستخدم معدات التخثير والترويق ، والترشيح لإزالة اللون ، العكارة ، والحديد والمنجنيز من المياه السطحية . ويساعد الكلور ومواد التعقيم الأخرى ، على إزالة المتعضيات المجهرية ، ولا يزال الحديد

والمنجنيز من مياه الآبار بمعدات التهوية والترشيح أو بأجهزة التيسير بالزيوليت أو بأجهزة ترشيح زيوليت منغنيز في بعض الحالات . يمكن تخفيف ثاني أكسيد الكربون إلى حدود مسموحة بواسطة التهوية أو بالتعادل بالكلس أو مادة كاوية . كما يمكن إزالة كبريت الهيدروجين عن طريق التهوية أو نزع الغاز ، أو نزع الغاز بغاز المداخن ، وبعد ذلك بالتهوية ويجب أن تعقب هذه العمليات ، المعالجة بالكلور لإزالة آخر الآثار .

يكفي عادة بالنسبة لمياه عملية التبيض ، تخفيف عسرة الكلسيوم إلى حوالي35PPM بطريقة الكلس البارد ، أو بطريقة الكلس صودا ، وهذه العملية اقتصادية جداً ، في مصانع الكرافت وعجينة الصودا ، لأنه يمكن استعادة العكارة وحرقها من جديد إلى جير ، وذلك بمعالجتها بالمعدات العادية لاسترداد الكلس . وفي مصانع عجينة الصودا والورق ، هناك إجراء اقتصادي أكثر ، هو استخدام العكارة المنتجة من معدات التيسير ، كحشوة .

تفيد أجهزة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم في توفير الحاجة من الماء الخالي من العسرة عند الطلب . وحيثما توفر الماء الحبيس ، أو ماء البحر بتركيب مناسب ، فإن أجهزة التيسير التيُ تجدد وبهذا النوع من الماء ، بدلاً من الملح المشترى ،ستكون أوفر إلى حد كبير . فمثلاً قد تنخفض تكاليف التشغيل لتيسير ماء بعسرة 20 غ / جالون إلى عسرة الصفر ، مع استخدام ماء البحر للتجديد ، إلى 0.3سنتاً لكل 1000 جالوناً (3دولاراً لكل 1.000.000 جالوناً)

تستخدم في صناعة العوازل الكهربائية معدات إزالة المعادن لتأمين الماء الخالي من الكهارب . وتستخدم من أجل مياه تغذية المراجل طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وطريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، وطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، وطريقة الكلس صودا الساخنة ، وطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات .

البترول : حقول الزيت ، مصانع التكرير

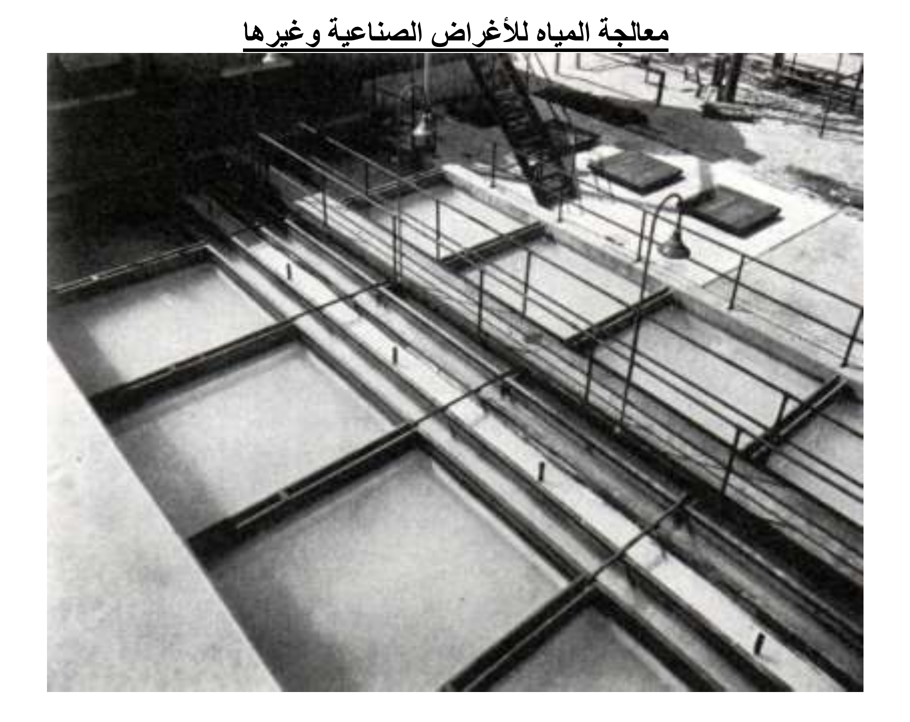
Petroleum: Oil Fields Refineries

نأتي في المقاطع التالية على وصف الحاجات المائية اللازمة للطورين الرئيسيين من عمليات النفط :

1ً – عمليات حقول الزيت : Oil Field Operations

يفضل في حفر الآبار تغذية المراجل المنتقلة بماء نقي يسر . وتتألف معدات التيسير من أجهزة لتيسير الماء بالزيوليت قابلة للنقل ، توضع عادة فوق منصات متحركة لتسهيل نقلها وبما أن أجهزة التيسير تنتقل عادة دون أن تسبب تفريغ المراجل ، فإن المنصات المتحركة تفيد أيضاً في إبقاء أجهزة التيسير في وضع قائم عند تحريكها من مكان إلى آخر . وتستخدم أحياناً أجهزة ترشيح متنقلة توضع أيضاً فوق منصات متحركة .

يجب أن تكون المياه المستخدمة لغمر آبار الزيت خالية من العكارة التي قد تسبب انسداد الطبقات المسامية ، وتُحدث ضغوطاً مرتدة عالية . وحيثما تستخدم المياه السطحية لهذا الغرض ، قد يكون الترشيح و/ أو المعالجة بالكلور هو كل ما نحتاج إليه . وبما أن هذه العمليات تنجز خلال فترة كبيرة فإن أجهزة الترشيح ، وجهاز تلقيم الشب ، وجهاز تلقيم القلوي إذا احتجنا إليه ، تقام جميعها كما تقام المنشآت العادية الدائمة . وعند استخدام مياه الآبار ، قد نحتاج إلى إزالة الحديد ، والمنجنيز ، وكبريت الهيدروجين و/ أو إنقاص كربونات الكلسيوم ، و إلى المثبتات .



الصورة 6 – 5 محطة لتبريد وتيسير الماء بطريقة الكلس البارد في أحد مصافي النفط

وحيثما يتوجب إعادة الماء الحبيس (مياه حقول الزيت المالحة) إلى الأرض سواء بقصد التخلص منها ، أو لأغراض الغمر ، فإننا نحتاج إلى معالجتها لتفادي التآكّل ، ولتخثير رواسب الزيت ، أو الجوامد المعلقة ، مثل كربونات الكلسيوم . وكبريت الهيدروجين هو المقوم الشائع تقريباً في هذه المياه وينبغي إزالته ، بسبب تأثيره الشديد الأكاّل . وكثيراً ما يؤدي تحرير الضغط إلى تحرير بعضٍ من محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق ، وقد يؤدي هذا إلى ترسيب بعض من قلوية الكلسيوم . وقد تستخدم المعالجة بجرعات صغيرة من الكلس مع الحمض فقط لتفادي الانسداد بكربونات الكلسيوم . تتم إزالة الزيت عادة بواسطة الترويق ، وقشط الزيت إضافة إلى الترشيح . وقد نحتاج أيضاً إلى المعالجة بالكلور لإزالة آخر آثار كبريت الهيدروجين أو لإتلاف المتعضيات المجهرية ، مثل البكتريا المختزلة للكبريتات .

2ً. مصانع التكرير . البترو كيماويات :

Refineries - Petrochemicals

تفيد المياه في مصانع التكرير بصورة رئيسية ، من أجل المراجل والتبريد ، وتستخدم للمياه السطحية معدات التخثير والترويق ، والترشيح ، والمعالجة بالكلور . ومع بعض المياه الجوفية نحتاج إلى معدات إزالة الحديد و/ أو المنجنيز ، ومعدات إزالة كبريت الهيدروجين . وتشمل إجراءات تيسير المياه لتغذية المراجل طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وطريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، وطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، والطرق الساخنة ذوات المرحلة الواحدة وذوات المرحلتين ، وطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات .

تستخدم كميات كبيرة من المياه للتبريد ، وينبغي لهذه المياه أن لا تحتوي على مقادير محسوسة من المادة المعلقة , وأن لا تكون القشرة فيها بكميات غير مرغوبة، و أن لا تحملناميات عضوية سادة ، وأن لا تكون أكاّلة . ولا تحتاج بعض المياه السطحية التي تستخدم عادة لمرة واحدة ثم تذهب إلى الهدر ، إلا لمعالجة بسيطة ربما باستثناء التصفية ، و/ أو المعالجة بالكلور . تشيع معالجة المياه التي تشكل القشور بالحمض ، أو بطريقة الكلس الباردة ، يضاف إليها عادة جرعة بسيطة من الحمض . وجرعة الكلس المستخدمة تكفي فقط لتفادي تشكل القشرة ولا تستدعي الضرورة إزالة عسرة اللاكربونات . وكثيراً ما يستغنى عن استخدام أجهزة الترشيح عند استخدام نمط الدثار العكر لأجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد . تعدّ معالجة مياه التبريد لإعطاء ماء لا يشكل قشرة مفرطة وليس أكاّلاً بدرجات الحرارة التي يواجهها . وفي التطبيق تراقب القطع المعدنية ، أو أجزاء الأنبوب المشقّه في مواضع استراتيجية ، ويجري تفحصها بصورة دورية ويتم أجراء تعديلات إضافية في المعالجة تبعاً لتشكل القشرة أو حدوث التآكّل .

استوديوهات التصوير الفوتوغرافي : Photographic Studios

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

يجب أن تكون المياه المستخدمة في استوديوهات التصوير الفوتوغرافي (سواء كانت صوراً متحركة أم ساكنة) خالية من العسرة والحديد ، والمنجنيز ، واللون ، والعكارة ، والكبريتات . والعسرة غير مرغوبة أبداً ، لأن المواد الكيماوية المستخدمة في محاليل المعالجة ، تشكل رواسب مع مقومات العسرة . لِسُلفيت الكلسيوم انحلاليتها ، هي فقط 43 ppm (2.5غ / جالوناً) وبما أن السلفيتات أو البيسلفيتات أو الميتا بيسلفيتات ، تستخدم في كافة مواد التظهير ، فإن الماء سيشكل إذا كان معتدلاً فحسب ، رواسب من سلفيت الكلسيوم . إن أكثر مواد التظهير هي مواد قلوية مع كربونات الصوديوم ، وبعض الصودا الكاوية وبما أن لكربونات الكلسيوم ذؤوبية تقرب من 31 ppm (اغ / جالون) وحوالي 8 ppm (0.5غ/ جالون) لهيدروكسيد المغنيزيوم ، فإن رواسب منهما تتشكل في المغاطس القلوية ، مع كربونات الصوديوم أو الصودا الكاوية.

تميل العكارات المتشكلة عن طريق هذه الرواسب إلى الالتصاق بطبقة الفيلم الجيلاتينية الحساسة للضوء ، ويجب أن تزال بالمسح ، إذا كان الفيلم ساكناً ، وبعمليات التلميع إذا كان فيلماً متحركاً ، والعكارة غير مرغوب فيها للسبب نفسه . والمياه الملونة بعمق ، قد تسبب بقعاً . والحديد والمنجنيز غير مرغوبين أبداً لأنهما يسببان حدوث الخطوط ، والبقع ، واللطخات . وتحدث المياه الكبريتية لطخات وألواناً حائلة لأن كبريت الفضة يحمل لوناً بنياً .

تقوم استوديوهات التصوير الفوتوغرافي بمعالجة مياهها بواسطة معدات التخثير والترشيح وإزالة الحديد والمنجنيز وأجهزة التيسير . ويلاقي جهاز تيسير الماء بالزيوليت استخداماً شائعاً .

الخطوط الحديدية : Railroads

إن استخدام الماء العسر لتغذية مراجل القاطرات مزعج ، ومكلف على نحو خاص ، لأنه تصعب إزالة القشرة المتشكلة على المسارب ، كما هي الحال مع المراجل ذات الأنابيب المائية . ولذلك يصبح من الضروري عندما تكتسي القاطرة

بالقشور على نحو سيئ ، وضعها في الورشة وفصل المسارب ، لفصل القشرة عنها ، وبعد ذلك تلحم الأجزاء على المسارب ، وتدحرج عائدة إلى المراجل ، أو يجري تركيب مسارب جديدة . وتزيد القشرة أيضاً من كسر مسامير التثبيت ، وتجديدات صناديق الاحتراق والصفائح الجانبية ، كما تزيد من مياه الغسل ، والتسرب ، وأعطال المحركات .

والعكارة في مياه تغذية المراجل غير مرغوبة أيضاً ، وحيثما تستخدم الموارد المائية العكرة تجب معالجتها بالتخثير والترشيح ، لإبعاد الطين عن المراجل .

إن أنماط الأجهزة المستخدمة للتيسر الخارجي هي :

(1) جهاز تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم .

(2) جهاز تيسير الماء بالكلس صودا على البارد . وعند استخدام أجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد تستخدم كمية زائدة من الكيماويات، والتي بها يمكن خفض عسر الثمالة إلى حوالي 17 ppm(1 غ / جالون) .

وفي التطبيق ، جرت العادة على إقامة أجهزة لتيسير الماء في المحطات المائية على التناوب ، أو في كل ثالث أو رابع محطة مائية ، وينصح طواقم المحركات برعاية هذه المحطات ، وسحب الماء في المحطات الأخرى فقط في حالة الاضطرار .عند استخدام الماء الميسر في المراجل المكسوة بالقشور ، فإن القشرة القديمة تتقشر تدريجياً ، فتزيد بذلك من ميول الإرغاء ، وهنا ينصح باستخدام مركبات مضادة للإرغاء . وهنا يصبح التصريف ضرورياً طبعاً لمنع تراكيز المياه الملحية في المراجل من الارتفاع كثيراً ، ويجري ذلك في صناديق تفريغ (يجب أن تكون أطرافها المفتوحة محتجزة) في المحطات ، أو على نحو مستمر . يبدو أن محتوى الكبريتات . كربونات محدود الأهمية في مراجل القاطرات ، لكن النترات أثبتت فائدتها في تثبيط التقصف . وحيثما تطبق المعالجة الداخلية ، فإنها تُنفذ برماد الصودا ومركبات المراجل ، وزيت الخروع ، أو بالمركبات الأخرى المقاومة للإرغاء . كثير من بلاد العالم جرى على نطاق واسع استبدال

القاطرات البخارية بقاطرات الديزل أو القاطرات الكهربائية . وهنا لا تدعو الحاجة إلى مياه تغذية المراجل ، إلا للمراجل الصغيرة التي تستخدم للتسخين . تحتاج محركات الديزل إلى مياه التبريد ، وهذه المياه يجب أن تعالج طبعاً ، لإبعاد أي خطر لتشكل القشرة . والمعدات المستخدمة على نطاق واسع لتيسير الماء ، سواءً للتبريد أو لمراجل التسخين ، هو جهاز تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم ، إنما يستخدم في بعض الحالات جهاز نزع المعادن بتبادل الأيونات ، وبما أن كميات الماء الإضافية اللازمة قليلة نسبياً فقد ركبت بعض أجهزة التيسير في القاطرات ، ولكن اكتشف أن تركيبها في المحطات عملي أكثر ، ومنها تسحب المياه حسب الحاجة ، إن المحافظة على قيمة إيجابية للـ PH في الماء الميسر كمثبط للتآكل مسألة مهمة والكرومات مهمة أيضاً كمثبط للتآكل ، لكنها تحمل عدم انسجامها مع المركبات العضوية المضادة للتجمد . وتستخدم أيضاً طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم لتيسير الماء الذي يستخدم في المحطات الآلية لغسل السيارات . كما تستخدم هذه الطريقة لكل المياه في مغاسل السكة الحديدية لغسل المناشف ، والملاءات وغيرها وفي المحطات ، حيث تستخدم المياه العكرة فإن هذه المياه تخثر وترشح قبل تيسيرها بهذه الطريقة . ولكن في المحطات التي تستخدم مياهاً جوفية نقية ، بما فيها المياه التي تحتوي على الحديد أو المنجنيز , فإن هذه المياه تيسر مباشرة دون تهوية وترشيح أو تليين ، لأن مبادل كاتيونات الصوديوم يزيل ، في وقت واحد الحديد والمنجنيز مع العسرة .

المدابغ : Tanneries

تتفاوت كميات الماء المستخدمة في المدابغ لكن الرقم المتوسط المناسب هو 800 جالوناً تقريباً لكل 100 باونداً من الجلد الخام . يجب أن تخلو مياه المعالجة من الحديد والمنجنيز ، وثاني أكسيد الكربون ومن اللون والعكارة ، وأن تكون عسرة البيكربونات فيها خفيفة .

الحديد والمنجنيز مزعجان على نحو خاص ، لأنهما يسببان البقع وحؤول الألوان ولا ينبغي لهما أن يتواجدا بكميات تزيد على 0.1ppm . وعند نقع الجلود بماء الكلس تبدو عسرة البيكربونات وثاني أكسيد الكربون الطليق غير مرغوب فيهما ، نظراً لتشكل رواسب لصوقة من كربونات الكلسيوم (بقع التقبيل) وهي مقاومة للصبغ . وعسرة البيكربونات غير محببة أيضاً في الشطف ، بعد النقع بماء الكلس ، وبعد التطرية والصَّبغ . يفضل أن يكون الماء بعسرة صفر من أجل غسل خلاصة العفص ، وعمليات الدبغ النباتية ، والصبغ بالأصباغ الأساسية ، وللمعالجة السائلة للدهن . ليس للعسرة تأثير واضح في الدبغ الكرومي ، ولا تسبب تبديد المواد الصبغية في المغاطس الحمضية .

تشمل معدات معالجة المياه التي تستخدمها المدابغ معدات التخثير ، والترويق، والترشيح ، والمعالجة بالكلور ، وإزالة الحديد والمنجنيز ، وتيسير المياه وجهاز التيسير بتبادل كاتيونات الصوديوم ، هو الجهاز الشائع تقريباً ، وتستخدم هذه المياه الميسرة للمراجل أيضاً .

الأنسجة : Textiles

يجب أن تكون المياه المستخدمة في المعالجة السائلة للأنسجة خالية من العكارة واللون ، والحديد ، والمنجنيز ، والعسرة ومن الناميات العضوية و أن لا تكون أكاّلة .

العكارة واللون :

من الواضح تماماً أن المواد الغير ذوابة المعلقة (العكارة) غير مرغوبة ولا ضرورة لأن نفصّل القول في إحداثها للوسخ ، و الخطوط ، والبقع . قد تختلف إلى حد ما التفاوتات المسموحة للعكارة بالنسبة لمختلف أصناف المواد لكنها عموماً لا يجب أن تتجاوز 5 ppm ، وقد نحتاج إلى تفاوتات أدنى من أجل مواد خاصة . والمياه الملونة بعمق غير مرغوبة أيضاً ، نظراً لإمكانية احتجاز الألوان

، الأمر الذي يؤدي إلى حؤولها و إلى تكون البقع . وعلى الرغم من عدم وضع معايير ثابتة للتفاوتات المسموحة بالنسبة لكافة المواد ، فإن اللون في معظم الاستخدامات يجب أن لا تتجاوز 10 ppm ، و 5 ppm بالنسبة للمواد الخاصة .

تستخدم معدات التنقية ، للموارد السطحية من الماء ، على نطاق عام تقريباً . وقد تشمل الطرق والمعدات المستخدمة لتقنية المياه ، الترسيب في الأحواض ، أو البرك ، أو الخزانات ، والتخثير والترويق في مكوّنات اللَّبَد أو في معدات التخثير والترويق من نمط الدثار العكر ، والترشيح بواسطة أجهزة رملية من نمط الثقالة أو النمط الضغطي أو بمرشحات الأنثرافيلت Anthrafilt وكبريتات الألمونيوم (مرشحة الشب) هي دائماً تقريباً المادة المستخدمة للتخثير .

قد تتضمن مواد التصحيح الكيمائية رماد الصودا ، أو بيكربونات الصوديوم ، أو الحمض وكثيراً ما يستخدم الطين في إزالة اللون ، كمساعد في تشكل الكتلة المتلبدة .

الحديد والمنجنيز :

الحديد والمنجنيز غير مرغوبين أبداً بسبب خواصهما التلطيخية ، وبسبب تأثيراتهما التحفيزية في بعض المعالجات . وعلى الرغم من تحديد التفاوتات المسموحة للحديد عند 0.3 - 0.2 ppm ، فإن هذه الكميات ذاتها تثير الاعتراض في كثير من المعالجات ولا يجب أن تتجاوز الحديد نسبة 0.1 ppm فيما يخص النواتج من الدرجة الممتازة . ووجود المنجنيز أيضاً غير مرغوب أكثر ولا يجب أن تتجاوز التفاوتات المسموحة عادة 0.5 ppm ، وتجري إزالة الحديد عادة عند وجوده على شكل بيكربونات الحديد ، بواسطة التهوية على أن تكون قيمة الـ PH تساوي 7 أو أكثر ، وبالترويق ، والترشيح . ويزال المنجنيز عادة عند وجوده على شكل بيكربونات منغنيزية بواسطة التهوية ، وبقيم للـ PH تزيد عن 9 ، وبالترويق ، والترشيح من خلال أجهزة ترشيح (مكمَّلة Ripened) .

يجب أن نحذر من أن تصبح الطبقات الخارجية فوق حبيبات أجهزة الترشيح ثخينة جداً ، لئلا تقشر جزيئات صغيرة منها ، فتسبب مصاعب في المعالجة . يستجيب الحديد والمنجنيز العضويان عادة للتهوية والتخثير بالشب ، والترويق ، والترشيح ، لكننا نحتاج في بعض الحالات إلى معالجات خاصة .

العسرة :

العسرة مكروهة في عدد كبير من عمليات المعالجة السائلة إلى الحد الذي يجري معه عادة تيسير كامل المورد المائي الذي يستخدمه المصنع وذلك بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم حتى عندما تكون العسرة في الماء الخام خفيفة جداً . وفي معالجة القطن تشكل العسرة خثارات صابونية غير ذوابة في مرجل الغلي، وتشكل رواسب لصوقة في المرسرة Mercerizing (معالجة القطن بالصودا الكاوية) ، حتى أنها تحول دون النفوذية وتشكل رواسب مع الكيماويات القلوية ، وخصوصاً عند الصبغ بألوان أساسية أو مباشرة ، أو بأصباغ الإندانثرين ، فتبدد المواد الصبغية وتسبب تخطط الصبغ وعدم انتظامه والعسرة مكروهة أيضاً في معالجة الكتان ، في غليان رماد الصودا أو المحاليل القلوية ، وفي عمليات التصبن ، والتقصير وكثير من عمليات الصبغ .

والنقع في ماء عسر عند معالجة الحرير ، يزيد التقطّع عند اللف على المكبات ، والعسرة تزيد أيضاً التقطّع في عمليات الإلقاء وتفضل إزالة المادة الصمغية في ماء يسر ، وفي تثقيل القصدير وصبغه ، تسبب العسرة راسباً قصديرياً غير منتظم ، وبقعاً في الصبغ قاحلة .

وفي معالجة الصوف يفضل إجراء عمليات التنظيف والشطف والصبغ جميعها في ماء عسرته صفراً ، لأن البنية القشرية للألياف الصوفية تقدم سطوح تجميع مثالية بالنسبة لصوابين الكلس والمغنيزيوم اللاذوابة .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

في تهيئة مياه المعالجة التي تستخدم لتصنيع الألياف التركيبية ، تستخدم على نطاق واسع طريقتان هما :

طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات . ويمكن أن نضيف أيضاً في مصانع العجينة ، التي تصنع العجينة الرمادية الرخيصة من سيلولوز ألفا ، والتي تلزم لتصنيع الرايون وبعض الألياف الأخرى التركيبية ، يجري عادة تيسير ماء المعالجة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم .

يجري تيسير الماء لتغذية المراجل ، في أكثر مصانع النسيج بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وقد تستخدم منشأة مركزية لتيسير كامل المياه التي يحتاجها المصنع . وفي مصانع أخرى تجري معالجة مياه تغذية المراجل بشكل مستقل بطريقة الكلس صودا الساخنة ، أو بطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات

الناميات العضوية :

الطحالب ، والفطور ، والكرينوذركس ، والمواد الغروية الحيوانية ، ناميات مكروهة جداً ، لأنها قد تسبب الانسداد ، والتبقيع والروائح ، والتسرب . و تستخدم المعالجة بالكلور ، على نطاق واسع ، لمنع تشكلها وكثيراً ما تستخدم المعالجة بكبريتات النحاس ، في البرك والخزانات لتثبيط تشكل الطحالب والناميات الأخرى .

تثبيط التآكّل :

يجري عادة تثبيط التآكل في خطوط ماء المعالجة ، بالمعالجة بسيليكات الصوديوم الكاوية ، ولكن لا يجب استخدام هذه المعالجة مع ماء تغذية المراجل في بعض مصانع النسيج ، لاسيما مصانع النسيج التركيبي ، تكون أغلفة أجهزة

الترشيح وأجهزة التيسير من المطاط أو البلاستيك المبطن ، وتبطن الصمامات وشبكة الأنابيب ، أو أنها تكون ذات تركيب لا حديدي .

الفصل السادس

تهيئة المياه التجارية والمؤسساتية

Commercial and Institutional Water conditioning

رتبنا المواد في هذا الفصل كما يلي :

1- مباني المكاتب .

2- الفنادق ، والموتيلات ، والنوادي .

3- مغاسل الملابس التجارية .

أولا . مباني المكاتب Building office :

تحصل أكثر مباني المكاتب على مواردها المائية من البلديات التي تقوم فيها . ولا حاجة بنا لأن نذكر بأن الموارد المائية البلدية ، التي تراقب بدقة ، هي خالية من البكتريا و التجرثم ، ونقية بشكل ثابت تقريباً ، وخفيفة اللون ، وتخلو في معظمها من الطعوم والروائح غير المرغوبة ، ويتضمن الجدول 1-6 المعدلات النموذجية لاستهلاك الماء الساخن والبارد في مباني المكاتب الكبيرة ، مقدرة بالجالون لكل شخص في اليوم .

الجدول 1-6 . احتياجات الماء للشخص الواحد في مباني المكاتب

الماء	جالون / يوم / شخص
ماء ساخن	10 . 5
ماء بارد	30 . 15
إجمالي الماء	40 . 20

ملاحظة : في أحد من مباني المكاتب الكبيرة ، مساحته الأرضية 86.000 قدماً مربعاً ، ويشغله 7000 شخصاً ، كانت حاجات الماء كما يلي : ماء ساخن 30.000 جالون / يوم ، ماء بارد 120.000 جالون / يوم ، التنظيف الليلي 3.000 جالون / يوم ، إجمالي الماء البارد 153.000 جالون/ ماء .

تستخدم كثير من مباني المكاتب مراجل بخارية خاصة بها ، في حين تقوم مباني أخرى بشراء ما تحتاجه من بخار . ويجب تيسير الماء حيثما تستخدم المراجل

البخارية ، وتتألف معدات تيسير الماء ، بشكل ثابت ، من أجهزة تيسير بتبادل كاتيونات الصوديوم من النمط الضغطي (زيوليت) ، تزود بمجموعات مؤلفة من وحدتين أو أكثر لضمان عدم توقف الخدمة . إذا احتوت مياه التبريد على كميات محسوسة من عسرة البيكربونات ، فقد يجري تيسيرها في المعدات نفسها ، ثم تعالج بسيليكات الصوديوم القلوية لتثبيط التآكل . وإذا احتوت المياه على عسرة البيكربونات بكميات تكفي لتشكيل القشرة في قنوات الماء الساخن ، فإنه يجب ، في هذه الحال ، تيسير كامل المياه الذاهبة إلى جهاز التسخين . وإذا كان غسل الملابس يجري في المبنى ، عندئذ يتوجب تيسير الماء المستخدم في الغسل ، سواء كان حاراً أم بارداً . وقد اكتُشف أن الماء الميسر أفضل لكافة عمليات التنظيف . كان حاراً أم بارداً ، في المطاعم ، ودور التجميل ، ومحلات الحلاقة ، الموجودة في المبنى ، ويجري ذلك بواسطة وحدات مستقلة لتبادل كاتيونات الصوديوم صغيرة نسبياً . يمكن كبح التآكل في جهاز تسخين الماء وخطوط الماء الساخن بالتغذية بسيليكات قلوية ، ولكن لا ينبغي استخدام هذه المعالجة لمياه تغذية المراجل ، يمكن منع التآكل في خطوط ناتج التكثيف الراجعة عن طريق تهوية مياه تغذية المراجل ، وتبطين الخطوط الراجعة بالزفت ، بحيث يمكنها التصرف بسرعة ، دون احتجاز أي من الماء السائل .

ثانيا : الفنادق والموتيلات والنوادي : Hotels , Motels , & Clubs

مهما كان الأثاث فاخراً في الفندق ، أو الموتيل ، أو النادي ، فإنه لا يمكنه أن يقدم خدمة مرضية لنزلائه أو أعضائه ، إذا كان مورده المائي غير مرض ، ومن الواضح انه :

(1) يجب أن يكون آمناً للشرب .

(2) يجب أن يكون جذاباً للنظر ، والشم ، والذوق .

(3) يجب أن لا يلطخ الخزف وكؤوس الشرب .

(4) يجب أن يكون يسراً بشكل معقول .

(5) يجب أن يكون وافراً بما يكفي لكافة الحاجات القصوى .

والشروط السابقة ، هي الشروط الضرورية لتقديم خدمات مرضية للنزلاء ، وأما فيما يتعلق بمصلحة المالكين فيجب أن يتوفر شرطان إضافيان ، وهما :

(6) أن لا يشكل قشرة على المراجل أو أجهزة التسخين أو قنوات الماء الساخن .

(7) أن لا يبدد الصابون في المغسل وان لا يُقصّر من عمر البياضات .

يتراوح إجمالي احتياجات الماء في الفنادق من حوالي 300 إلى ما يزيد عن 400 جالوناً تقريباً في اليوم لنزيل الغرفة . وتتراوح احتياجات الماء الساخن من حوالي 20 % من أكبر إجمالي إلى حوالي 40 % من أقل إجمالي ، أو بمعنى آخر 120 – 130 جالوناً في اليوم لنزيل الغرفة . إن معدلات الدفق القصوى ، مقدرة بالجالون في الدقيقة ، هي تقريباً أربعة أضعاف متوسط الجالونات في الدقيقة ليوم الـ24 ساعة . إن الأرقام اليومية والساعّية للاستهلاك المتوسط والأقصى من الماء ، والمدرجة في الجدول 2 – 6 ، تقوم على أساس قراءات مترية ساعية ،خلال فترة أسبوع ، في الفندق مؤلف من 300 غرفة وسنلاحظ في هذه الحالة ، أن الحد الأقصى لعدد الجالونات في الساعة يبلغ 3 .2 ضعفاً لمتوسط عددها في الساعة .

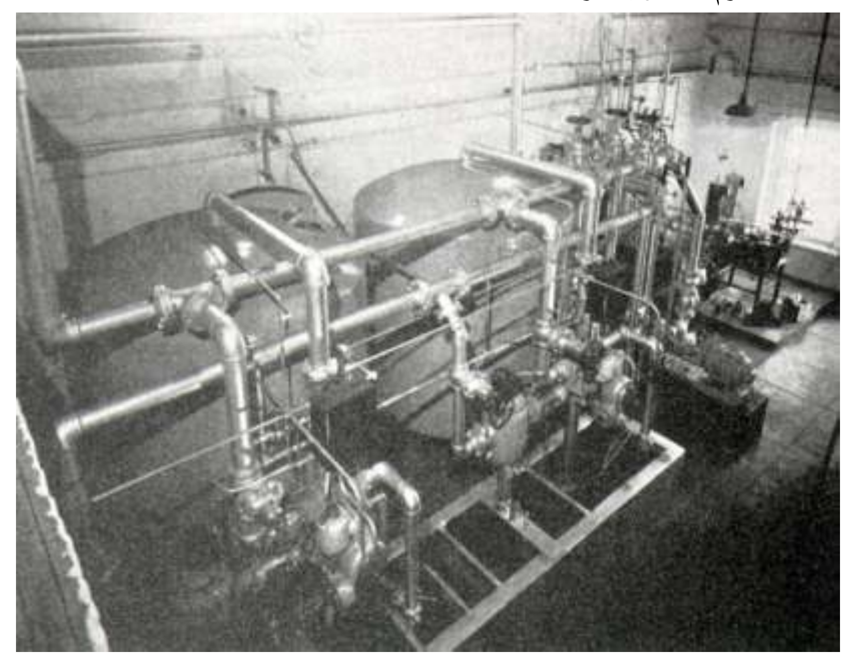
الجدول 2 – 6 . استهلاك الماء في فندق مؤلف من 300 غرفة

الاستهلاك المتوسط والأقصى في اليوم والساعة	إجمالي الجالونات	الجالونات للغرفة
متوسط الاستهلاك في اليوم	120030	403
الاستهلاك الأقصى في اليوم	190050	634
متوسط الاستهلاك في الساعة	5040	8. 16
الاستهلاك الأقصى في الساعة	15960	2. 53

الموارد المائية البلدية Municipal Water Supplies

تحصل معظم الفنادق ، والموتيلات ، والنوادي على مواردها من الماء من البلديات ، وهي ضمانة جيدة في كل البلاد ، حيث تقوم السلطات الصحية بمراقبة

دقيقة للمواصفات الصحية في موارد بلدياتها المائية . ومعظم البلديات أيضاً توفر الماء ، ليس آمناً للشرب فقط ، بل يكون عادة نقياً ، خفيف المحتوى من اللون ، والحديد ، والمنغنيز ، وكثير منها يؤمن خالٍ تماماً من الطعوم والروائح غير المرغوبة . وبالتالي ، بقدر ما يتعلق الأمر بمواصفات مياه الشرب ، فإن الموارد البلدية من الماء ، والتي تراقب بشكل صارم ، تكون مرضية جداً .



الصورة 1 – 6 وحدتان لتيسير الماء بالمبادل الكاتيوني الصوديومي في أحد الفنادق

ولكن واقع كون الماء مناسباً لأغراض الشرب ، لا يعني أنه مناسب ، بصورة مماثلة ، لكافة الاستخدامات الأخرى في الفنادق ، والموتيلات ، والنوادي ، لأن الموارد المائية الطبيعية جميعها ، وبغض النظر عن نقاوتها ، وخلوها من اللون ، قد تحتوي على مادة معدنية منحلّة ، يمكن أن تكون مزعجة جداً . ومن أكثر هذه الأملاح المعدنية شيوعاً ، وأكثرها إزعاجاً ، أملاح الكلسيوم والمغنزيوم التي تعرف إجمالاً " بالعسرة " . تحتوي كافة الموارد المائية الطبيعية ، وعملياً بدون استثناء ، على عسرة ،

ولكن الكميات الموجودة منها في مختلف الموارد ، كما أوضحنا في الفصل الثاني ، تتفاوت إلى مدى واسع . وفيما يتعلق أيضاً بالتطبيق العملي لتيسير المياه البلدية .

كما لاحظنا في الفصل الثاني ، ونلاحظ في الفصل السابع ، فإنه لا يجري بشكل كامل تيسير الماء دائماً تقريباً ، بل يجري ، بدلاً من ذلك ، تحويل العسرة من محتواها العضوي إلى عسرة ثمالية ، تتراوح من 50 ppm (3 غ / جالون) إلى 120 ppm (7 غ / جالون) في مختلف المواضيع . وكما ذكرنا سنفصل فيما بعد ، تحت عنوان " المغاسل المؤسساتية" ، فإن المياه التي تحتوي على ثمالات العسرة ضمن هذا المدى ، تحتاج إلى تيسير إضافي وكامل ، وذلك قبل استخدامها في المغاسل . وبخلاف هذا ، لا تصعب فقط معالجة الخسائر الكبيرة في الصابون والمواد المقوية للتنظيف ، بل أيضاً سينقص عمر البياضات المغسولة من حوالي 10 % ، عند احتواء الماء على 35 ppm (2غ / جالون) من العسرة وإلى أكثر من 25 % عند احتوائه على 120 ppm (7 غ / جالون) منها .

وبينما تقوم اليوم أكثر من ألف بلدية في الولايات المتحدة الأمريكية بتخفيف عسرة المورد المائي الطبيعي إلى المدى المذكور أعلاه ، معظم البلديات لا تفعل ذلك ، ولذلك تكون عسرة المياه في الخطوط الرئيسية للمدن في مثل هذه الحالات ، كعسرة الموارد الطبيعية من الماء المستخدم ، وقد تتفاوت هذه العسرة ، على نطاق واسع في مختلف المواضع .

إذا كان مقدار العسرة خفيف جداً ، فإن مياه المغسل ، و المراجل البخارية فقط ، هي التي تحتاج إلى معالجة ، أما إذا كانت العسرة أعلى بقليل ، بحيث يخشى من تشكيل القشور في جهاز التسخين وقنوات توزيع الماء الساخن ، فإن كافة المياه ، التي تتطلب التسخين ، تحتاج إلى تيسير . وفيما يتعلق بقنوات الماء البارد ، فإن الماء هنا ، وبشكل ثابت تقريباً ، لا يجري تيسيره ، باستثناء الماء المستخدم في المغسل طبعاً . ويتوجب ترشيح المورد البلدي من الماء ، عند استقباله من قنوات

التوزيع ، إذا لم يكن نقياً ، وتجب معالجته ، إذا كان أكالاً لتثبيط التآكل ، وإذا احتوى على الحديد و/ أو المنغنيز ، فيجب إزالتهما ، وإذا كان يحمل، ولو أحياناً فقط ، طعوماً وروائح غير مرغوبة ، فإنها ينبغي أن تزال ، على الأقل ، من المورد المائي المخصص للشرب .

الموارد المائية الخاصة Private Water supplies

إن أكثر الفنادق ، والموتيلات ، والنوادي ، التي تملك مورداً مائياً خاصاً ، تستخدم المياه الجوفية ، التي تحصل عليها عادة من الآبار العميقة أو وفي بعض الحالات ، من الينابيع ، لكن بعضها يستخدم المياه السطحية . وعموماً ، تكون معظم المياه الجوفية ، وخصوصاً المياه المتحصلة من الآبار العميقة ، نقية ، عديمة أو خفيفة اللون ، خالية من الجراثيم المؤذية . ولكن لا يجب اعتبار الخلو من الجراثيم كمسلمة ، بل يجب إجراء الاختبارات الجرثومية للتأكد من أن هذا هو الواقع دائماً . تحتوي أيضاً مجموعة من مياه الآبار العميقة الحديد و / أو المنغنيز ، وهما مقومان غير مرغوبين أبداً ، لأنهما يلطخان كؤوس الشرب ، وصحون الخزف ، يكسبان الماء طعماً معدنياً قابضاً ، ويصبغان الشاي باللون الأسود (يتحد الحديد مع حمض العفص الموجود في الشاي لتشكيل المداد المخفف) كما يجعلان القهوة رديئة جداً ، وعملية غسل الملابس مستحيلة تقريباً . كما تحتوي مياه بعض الآبار (المياه الكبريتية) كبريت الهيدروجين ، الذي يحمل رائحة كريهة ، تشبه رائحة البيض الفاسد . وكما لاحظنا سابقاً أيضاً ، فإن العسرة موجودة دائماً بدرجة كبيرة أو صغيرة . وفي المادة التالية سندرس أولاً تأثيرات عسرة الماء و الفوائد الناتجة عن إزالتها بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) . وبعد عمليات المعالجة المسبقة ، كالترشيح وإزالة الحديد والمنغنيز ..إلخ ، للمياه التي قد تكون بحاجة إليها.

المغاسل المؤسساتية *Institutional laundries*

تتراوح كمية الماء المستخدمة في هذه المغاسل من 3 . 3.5 جالوناً لكل باوند من الشيء المغسول . وعند استخدام الماء العسر فيها ، فإنها :

(1) تبدد الصابون ، ومواد تقوية التنظيف ، والمنظفات الأخرى .

(2) تشكل رواسب لا ذوابة تميل إلى الالتصاق بالمواد المغسولة ، الأمر الذي يؤدي إلى رداءة نوع العمل ، وإحساس بالخشونة .

(3) تحتاج إلى قدر كبير من مادة التبيض .

(4) تُقصّر بشكل ملحوظ من عمر المواد المغسولة .

لقد تبين نتيجة البحث أن كل غ / جالون من العسرة (17.14 ppm) ، في كل 1000 جالوناً من الماء ، بالتماس مع مسحوق التنظيف الذي يحوي 50 % صابون و50 % مادة تقوية ومالئة والذي يستخدم على نحو شائع ، يبدد 29 أونساً من المزيج . وعند استخدام الصابون فقط وجد أن $1\ ^1/_2$ ليبرة تتبدد في كل غ / جالون من العسرة ، في كل 1000 جالوناً . يمكن حساب مسحوق التنظيف ، أو الصابون الصرف ، الذي تبدد على هذا النحو من كميات من الماء المستخدم من بداية "الاختراق" ، متضمنة الشطف الأول ، الذي يلي آخر إضافة من المنظفات ، وتطبيق العامل المناسب بعدئذ إضافة إلى توفير الصابون ومواد تقوية التنظيف ، الذي يتحقق بتيسير المياه العسرة ، تحقق المغاسل المؤسساتية بما يفوق ضعفين أو ثلاثة أضعاف وفرها من مسحوق التنظيف ، لأن الغسل بماء ميسر يزيد عمر المواد المغسولة ، وفيما يتعلق بهذه المسألة ، نطالع في إحدى النشرات ما يلي : يمكن بسهولة لأولئك الذين يريدون تقديم الحقائق فيما يتعلق بالحد الأدنى للوفر السنوي المتوقع من البياضات ، عند استخدام الماء اليسر ، أن يحضروا المعلومات الضرورية ، عن طريق تناولهم لإجمالي الموجودات من البياضات الموضوعة في الخدمة ، ويستخرجوا رقم البدائل

خلال فترة نموذجية ، تعطي المدى المتوسط لعمر كل مادة الآن . وعند الحصول على هذا الرقم ، يمكن استخدام الجدول التالي لتقدير الوفر في حال استخدام الماء اليسر :

الجدول 3 – 6 الوفر في حال استخدام الماء اليسر

10 % من الرقم إذا كان الماء	2 غ / جالون 34 ppm
18 % من الرقم إذا كان الماء	4 غ / جالون 69 ppm
25 % من الرقم إذا كان الماء	6 غ / جالون 103 ppm
31 % من الرقم إذا كان الماء	8 غ / جالون 137 ppm
35 % من الرقم إذا كان الماء	10 غ / جالون 171 ppm

ملاحظة 1 : إنها أرقام متوسطة جيدة ، كما تظهر عن طريق الوفر الفعلي ، الذي ينسجم تماماً مع الوفر المتوقع . فمثلاً أظهرت الدراسات التي أجراها خبراء في أحد الفنادق الكبيرة قبل وبعد تسير ماء بعسرة 6.5 غ / جالون 112 ppm ، أن التيسير أطال من عمر المواد المغسولة بمقدار 27% .

ملاحظة 2 : عرفت على مدى قرون ، حقيقة أن الغسل بالصابون في المياه العسرة ، ينقص من عمر المواد المغسولة . ويشير إلى هذه الناحية السير فرنسيس بيكون Francis Bacons في مؤلفة " التاريخ الطبيعي Natural History " ، والمعنى واضح تماماً (لأن الماء الطباشيري أكال جداً ، كما يبدو في الملابس المغسولة ، التي تبلى بسرعة ، إذا استخدمت هذه المياه) .

إن معدات تيسير الماء في كل المغاسل ، سواء كانت مؤسساتية أو تجارية ، هي دائماً من نمط كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) . ويمكن الحصول على كلا النموذجين سواء ذاك الذي يعمل آلياً ، أو الذي يعمل يدوياً ، ولتوفير مرفق مائي يسر لا ينقطع ، يفضل استخدام المجموعات المؤلفة من وحدتين أو أكثر ، على أن تكون ذوات قدرة كافية لمعالجة الأحمال القصوى . تستخدم عادة منشأة مركزية واحدة للتيسير ، وذلك لتوفير كافة احتياجات الماء اللازمة للمغسل ، ومراجل البخار ، وحيثما تطلب من أجل مورد مائي ساخن . يمكن عادة تأمين الوقاية لخطوط الماء الميسر من التآكل بواسطة السيلكات القلوية من جهاز التغذية بمحلول الصودا ، ولكن لا ينبغي استعمال المعالجة بالسيلكات لمياه تغذية المراجل ، وهكذا يبزل خط الأنابيب ، الذي

يزود المراجل ، قبل جهاز التغذية بالسيليكات ، عند استخدام منشأة مركزية لتيسير الماء .

قشور المياه العسرة : Hard Water Scales

إن المياه التي تحمل أي درجة من العسرة ، تشكل إذا لم تعالج قشرة وعكارة ، عند استخدامها في المرجل البخاري ، وهذا ليس بسبب ارتفاع درجة الحرارة فقط ، بل أيضاً بسبب ارتفاع التركيز ، الذي يحدث عن طريق التبخر . ويعتبر تشكل القشر في المرجل البخاري مشكلة خطيرة ، ويؤدي في حال تراكمه إلى فرط سخونة الأنابيب، وانتفاخها ، وتعطلها نهائيا . انظر ما جاء في الفصل الثاني .

بما أن التركيز لا يحدث في أجهزة التسخين وخطوط الماء الساخن ، فإن تشكل القشرة منوط بتأثير درجات الحرارة على المقومات العسرة ، وخصوصاً عسرة البيكربونات . ولذلك ، قد لا تشكل قشرة المياه التي تحتوي على كميات صغيرة جداً من عسرة البيكربونات ، بينما تشكل قشرة المياه ذات المحتوى الأعلى من البيكربونات ، وكلما كانت عسرة البيكربونات أعلى ، كلما أصبحت تشكل القشرة أكثر خطورة .

ملاحظة : يظهر دليل لانجلير Langelier ما إذا كان ماء ما ، سوف يشكل قشرة عند تسخينه لدرجة حرارة ما . وسوف نجد التوجيهات من أجل حساب دليل لا نجلير في الجدول 2 – 9 في الفصل التاسع .

إن تشكل القشرة في جهاز تسخين الماء ، وخطوط وأجهزة الماء الساخن ، تخفف معدلات الجريان ، وترفع من تكاليف عمل الإصلاح ، ونظراً لعدم وجود عملية لإزالة القشرة الثخينة عن أنابيب وأجهزة الماء الساخن ، فإنها يجب انتزاعها في النهاية ، واستبدالها . ولذلك يجري أيضاً في معظم الفنادق والموتيلات والنوادي، التي تستخدم المياه المشكلة للقشور ، تيسير كامل هذه المياه ، التي تذهب إلى جهاز التسخين ، وقنوات توزيع الماء الساخن بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم .

وقد تمثل مياه التبريد العسرة أيضاً مشكلات مزعجة لتشكل القشور ، بحيث تجري أيضاً على الأغلب معالجة المياه المستخدمة لمكثفات التبريد السطحي ، وأجهزة تكيف الهواء ... الخ ، بواسطة تبادل كاتيونات الصوديوم .

ملاحظة : سنأتي في الفصل التاسع على وصف طرق أخرى لإيقاف تشكل القشور في مياه التبريد , ولكن المعالجة بالجير البارد ، أو بحمض الكبريت ، هي أكثر قابلية للتطبيق ، بالنسبة للاستخدام الصناعي ، منها للاستخدام في الفنادق أو الموتيلات أو النوادي .

الترشيح Filtration :

إذا احتوى المورد المائي فقط على كميات بسيطة من العكارة ، أو على كميات صغيرة أحياناً من الصدأ المعلق ، فإن كل ما يحتاجه ، هي أجهزة ترشيح من النمط الضغطي ، مسبوقاً بجهاز للتغذية بمادة مخثرة . وإذا كان محتوى الماء من القلويات خفيض جداً ، فقد تحتاج أيضاً إلى جهاز تغذية بمادة قلوية ، أو إلى أجهزة ترشيح من نمط التعادل . وحينما احتجنا إلى أجهزة الترشيح ، فإنها تقام عادةً على شكل مجموعات ، مؤلفة من وحدتين أو أكثر ، وبالتالي ، مرتبة حجماً ، بحيث يمكن للوحدة أو الوحدات الأخرى من المجموعة ، أن تتحمل كامل الحمل ، أثناء الغسل الراجع لإحدى الوحدات وشطفها . وفيما يتعلق بأجهزة التعادل في الترشيح ، فإننا نستخدمها لرفع قيم الـ PH في المياه العدوانية بشكل آلي نحو 7.2 – 7.3 . وتستخدم أيضاً للمحافظة على قيمة الـ PH مياه دورانية في مسبح .

وحيثما توجب تخثير الموارد المائية السطحية ، وترشيحها ، ومعالجتها بالكلور ، فإنه يفضل ترويق المياه المخثرة قبل الترشيح . ينبغي أن يكون خزان الترويق المستخدم من نمط الجوامد المعلقة ، وعامل المعالجة بالكلور من نمط الهيبوكلوريت ، بدلاً من غاز الكلور المسال . وإذا كان محتوى الماء من عسرة البيكربونات عالياً ، فإنه يمكن استخدام المعدات نفسها ، ليس للتخثير والمعالجة بالكلور والترويق فقط ، بل أيضاً

لخفض عسرة البيكربونات بطريقة الجير البارد ، وبعدها بمعالجة الماء ، الذي نحتاجه ميسراً بصورة كاملة ، بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم . انظر الفصلين 13 – 18 .

إزالة الحديد والمنجنيز : Iron & Manganese Removal

وكما ذكرنا سابقاً ، بالنسبة للمياه التي تحتوي على رواسب معلقة لا ذؤوبة من الحديد ، وليس على مركبات ذؤوبة من الحديد يمكننا القيام بإزالتها بواسطة التخثير والترشيح . ويمكن القيام بإزالة الحديد ، و/ أو المنغنيز الذؤوبين من المياه الجوفية ، حيث يوجدان على شكل بيكربونات لهما ثنائية التكافؤ:

(1) طريقة كاتيونات الصوديوم .

(2) أجهزة الترشيح المؤكِسدة .

(3) التهوية ، والترويق والترشيح .

وفيما يتعلق بـ (1) ، إن أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، ستزيل في وقت واحد ،الحديد و/ أو المنغنيز مع العسرة . ولذلك سوف تخلو كافة المياه ، التي يجري تيسيرها بهذه الطريقة ، من الحديد والمنغنيز . ومن الواضح أنه ما لم يجر أيضاً تيسير الماء لخطوط الماء البارد ، أو معالجته بطريقة أخرى ، فإنه سيضم محتواه الأصلي من الحديد و/ أو المنغنيز ، وبما أن هذا المحتوى يشكل المقدار الأكبر من الماء المستخدم ، فلا بد أن يكون مزعجاً جداً .

وفيما يتعلق بـ (2) ، فسوف تزيل أجهزة الترشيح المؤكسِدة (مرشّحات المنغنيز زيوليت) كلاً من الحديد أو المنغنيز أو كليهما ، عن طريق أكسدتهما إلى هيدروكسيداتهما الغير ذوابة الثلاثية التكافؤ ، وتزيل في نفس الوقت رواسبهما عن طريق الترشيح دون إزالة العسرة أياً كانت . تنظيف هذه الأجهزة من الرواسب عن طريق غسل دوري راجع ، وقبل استنزاف قدرتها المؤكسدة تماماً ، فإنها يجري تجديدها بمحلول برمنغنات البوتاسيوم . وتستخدم أجهزة الترشيح المؤكسدة على نطاق واسع :

(آ) حيث يكون إجمالي كميات الماء ، الذي يراد تسخينه ، ليس كبيراً جداً ، والمولد الحراري ليس رخيصاً .

(ب) حيث يكون استخدام الكميات الكبيرة من الماء ، الذي يراد معالجته ، محدودة عادة بإزالة كميات الحديد أو المنغنيز التي لا تتجاوز 1 ppm تقريباً . وقد تستخدم مع هذه المرشّحات : مرشّحات التعادل إذا كانت قيمة الـ PH أدنى قليلاً .

وفيما يتعلق بـ (3) ، فإن التهوية ، والترويق ، والترشيح ، تزيل الحديد و/ أو المنغنيز بشكل جيد ، وحيثما تستخدم هذه العمليات ، فإنها تستخدم عادة لكافة أنواع المياه . وتترافق غالباً بطريقة الجير البارد لتخفيف عسرة البيكربونات ، تتلوها طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، فقط بالنسبة لكميات الماء التي تحتاج إلى تيسير كامل . تحتاج البيكربونات المنغنيزية ، في تأكسدها ، لأن تكون قيمة الـ PH أعلى من قيمتها اللازمة لأكسدة بيكربونات الحديد . ولذلك ، تمكن إزالة المنغنيز من الماء ، على نحو فعال أكثر ، بواسطة عملية الجير البارد ، وخصوصاً عند استخدام معدات الجوامد المعلقة ، ولمزيد من التفاصيل حول إزالة الحديد والمنغنيز ، انظر الفصل 14 .

إزالة الطعوم والروائح : Taste & Odor Removal

يمكن إزالة الطعوم والروائح بمجرد ترشيح الماء في مرشّحات الكربون المنشط . وتستخدم هذه الطريقة ، في معظم الحالات ، من أجل مياه الشرب فقط . وعند استنزاف القدرة على الترشيح ، ويلاحظ هذا باكتشاف أدنى طعم أو رائحة ، نقوم باستبدال الكربون المنشط بعبوة جديدة . ولكننا لا نحتاج إلى هذه البدائل إلا مرة واحدة تقريباً في العام ، نظراً للقدرة الكبيرة ، التي يتمتع بها الكربون المنشط على امتزاز الطعوم والروائح .

المستشفيات والمؤسسات : Hospitals & Institutions

تتفاوت إلى حد كبير ، الكميات اللازمة من الماء لكل سرير في المستشفيات ، والمصحات ، والمؤسسات الأخرى . وبصورة عامة فإن حاجة السرير الواحد تتراوح يومياً من 135- 350 جالوناً . وقد تكون معدلات الجريان القصوى ، مقدرة بالجالونات في الدقيقة ، أربعة أو خمسة أضعاف متوسط تلك المعدلات في 24 ساعة . وفي تقيم لاحتياجات الماء الساخن ، باستثناء احتياجات مغسل الثياب ، يبلغ الحد المتوسط للسرير الواحد 34 جالوناً في اليوم ، وقد يتراوح متوسط ما يحتاجه مغسل الثياب من الماء (بارداً وساخناً) من 40- 50 جالوناً تقريباً للسرير الواحد يومياً . وتتراوح معدلات الجريان القصوى في مغاسل الثياب ، مقدرة بالجالونات في دقيقة ، من ضعفين إلى ضعفين ونصف متوسط الجالونات في الدقيقة خلال تشغيل المغسل . يجب أن يكون المورد المائي ، المخصص للمستشفيات والمؤسسات الأخرى ، من نوعية خالية من البكتريا ، خالٍ من الحديد ، والمنغنيز ، والعكارة ، واللون المحسوس ، كما يجب تيسير الماء المستخدم في مغسل الثياب ، والمراجل ، وأجهزة التعقيم ، والمطبخ ، مهما كان المحتوى العضوي للعسرة فيه بسيطاً . ويجب أن لا يحمل ماء أجهزة التسخين وقنوات الماء الساخن ميولاً لتشكيل القشور ، وينطبق هذا أيضاً على مياه التبريد . لا يجري عادة تيسير الماء المخصص لخطوط الإمداد بالماء البارد ، باستثناء الكميات المخصصة لخط الماء البارد إلى مغسل الثياب . وحيثما كان الماء نقياً ، آمناً خالياً من الحديد ، لكنه يحتوي على العسرة ، سواء كان مستمداً من البلدية أو من بئر عميقة خاصة ، فإن معدات التهيئة ، المستخدمة على نطاق واسع ، هي أجهزة التيسير من نمط مبادل كاتيونات الصوديوم ، وتتألف عادة ، وليس دائماً ، من وحدة مركزية لتيسير الماء لاستخدامه في مغسل الملابس ، والمراجل ، والمطبخ ، إلخ . كثيراً ما تستخدم أجهزة التغذية بسيليكات الصوديوم لتثبيط التآكل في خطوط الماء اليسر ، ولكن باستثناء مياه تغذية المراجل .

ثالثا . مغاسل الملابس : Laundries

إن المياه ، التي تحتوي على العسرة ، مكروهة في كافة المغاسل المؤسساتية للملابس ، وذلك لأسباب ثلاثة:

(1) تختزل بشكل خطير من عمر المواد المغسولة فيها .

(2) تبدد كميات كبيرة من الصابون ، والمنظفات الأخرى .

(3) تنتج عملاً من نوعية سيئة . انظر " المغاسل المؤسساتية" فيما سبق .

مياه تغذية المراجل Boiler Feed Water

على الرغم من استخدام طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، على نطاق واسع، لتهيئة مياه تغذية المراجل في المستشفيات والمؤسسات الأخرى ، فإن عدداً من المؤسسات الكبيرة تقوم بتهيئة المياه لتغذية مراجلها على نحو مستقل بـ :

(1) طريقة الجير صودا على الساخن .

(2) طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين (بالاشتراك مع طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم) .

(3) طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات .

يستفاد من (1) و(2) من خلال طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم في تخفيف الكميات المحسوسة من عسرة البيكربونات ، والقلويات ، وإجمالي محتويات الجوامد ، وكذلك الأمر بالنسبة لكميات ثاني أكسيد الكربون المحررة في المراجل . وتقدم الطريقة الثالثة طبعاً فائدة إضافية ، هي الإزالة التامة ، من الناحية العملية ، للمحتويات المعدنية . وقد يخف التآكل في الخطوط الراجعة ، إلى حد كبير عن طريق تهوية هذه المياه ، التي تحتوي على هواء منحل ، وتركيز منخفض جداً من ثاني أكسيد الكربون في البخار ، وبالتبطين المناسب بالزفت للأنابيب الراجعة ، وذلك تفادياً للأنتفاخ . انظر الفصل الثامن فيما يتعلق بمياه تغذية المراجل .

طريقة الكلس البارد : Cold Lime Process

تستخدم طريقة الجير البارد ، في عدد من المستشفيات ، فيما يتصل بأزالة الحديد و/ أو المنغنيز بالتهوية بالكلور ، والترويق ، والترشيح ، أو فيما يتصل بالتخثير ، والمعالجة بالكلور ، والترويق ، والترشيح لموارد المياه السطحية الخاصة . وحيثما تستخدم أيضاً مع المياه ، التي تحتوي على العسرة محسوسة من البيكربونات ، فإنها تحقق عدة فوائد ، من بينها تخفيف العسرة ، والقلوية ، وإجمالي محتوى الجوامد في الماء ، وتوفر ماء مناسب لأغراض التبريد ، وتخفف من تكاليف المعالجات التالية ، إلخ . انظر الفصل 18 .

الترشيح وإزالة الحديد والمنجنيز :

انظر ما سبق ، والفصلين 13 و114 .

ثالثاً : مغاسل الملابس التجارية : Laundries Commercial

يمكن أن تحسب الكميات اللازمة من الماء للمغاسل التجارية للملابس من عدد الباوندات في العمل المغسول أو من عدد وحجوم آلات الغسل ، وفترات " تشغيلها وإيقافها " .

والعسرة في مياه مغاسل اللباس غير مرغوب فيها لأنها تبدد كميات كبيرة من مواد التنظيف وتؤدي إلى نوعية سيئة من العمل . ويبين الجدول 4 – 6 خسارة :

(1) مسحوق التنظيف من نوع 50 % صابون و 50 % مواد مقوية .

(2) الصابون الصرف ، التي يسببها كل 1000 جالوناً من الماء بمختلف العسرات ، عندما يصبح على تماس مع هذه المنظفات .

Hardness		Wastage per 1000 Gallons	
(gpg)	(ppm)	(50-50 S. and B.)	(Pure Soap)
½	9	0 lb 15 oz	0.8 lb
1	17	1 13	1.5
2	34	3 10	3.0
3	51	5 7	4.5
4	69	7 4	6.0
5	86	9 1	7.5
6	103	10 14	9.0
7	120	12 11	10.5
8	137	14 8	12.0
9	154	16 5	13.5
10	171	18 2	15.0
11	189	19 15	16.5
12	206	21 12	18.0
13	223	23 9	19.5
14	240	25 6	21.0
15	257	27 3	22.5
16	274	29 0	24.0
17	291	30 13	25.5
18	309	32 10	27.0
19	326	34 7	28.5
20	343	36 4	30.0
22	377	39 14	33.0
24	411	43 8	36.0
26	446	47 2	39.0
28	480	50 12	42.0
30	514	54 6	45.0
35	600	63 7	52.5
40	686	72 8	60.0
45	771	81 9	67.5
50	857	90 10	75.0

الجدول 4-6 خسارة مسحوق التنظيف من نوع 50 % صابون و 50% مواد مقوية . والصابون الصرف

عند حسا ب كمية المنظفات التالفة باستخدام الماء العسر في المغسل ، يجب أن نضع في اعتبارنا أنه ليس كل الماء ، الذي يدخل آلات الغسل ، يخرب الصابون ومواد تقوية التنظيف ، لأن جزءاً كبيراً منه ، يستخدم للشطف بعد أن يكون تخريب المنظفات قد حدث .

وإضافة إلى ضرورة كون عسرة المياه صفراً ، فإن مياه المغسل كلها ، يجب أن تكون خالية من العكارة ، واللون ، والحديد ، والمنغنيز ، والبكتريا . تطور كثير من المغاسل مواردها الخاصة من الماء . وتستخدم مغاسل أخرى موارد الماء البلدية .

وكثير منها أيضاً يطور الطاقة الخاصة به من البخار قبل استخدامه في المغسل . والنمط الوحيد لجهاز تيسير الماء الذي يستخدم ، بشكل شائع ، في المغاسل ، هو جهاز التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) . وييسر هذا الجهاز كافة الماء المستخدم في المغسل من أجل آلات الغسل ، والمراجل ، وكل الاستخدامات الأخرى ، وتستخدم أجهزة التلقيم بالسيليكات على خطوط الماء اليسر في بعض المغاسل ، باستثناء خطوط مياه تغذية المراجل طبعاً . أما فيما يتعلق بالمياه التي تظهر أحياناً عكارة عالية كالموارد البلدية غير المرشحة من البحيرات ، فتستخدم أجهزة التلقيم بمادة مخثرة ، وأجهزة الترشيح ، وذلك قبل أجهزة تيسير الماء بالزيوليت . وتفصل شوائب الحديد الثلاثي المعلق بواسطة الترشيح ، ولكن يمكن إزالة بيكربونات الحديد الذوابة بواسطة جهاز تيسير الماء بالزيوليت ، في وقت واحد ، مع العسرة .

ولابد من أن يكون مبادل كاتيونات الهيدروجين ذا أهمية ، مع المياه ذات المحتوى العالي من القلوية ، وخصوصاً لتوفير الماء من أجل الحمض وغسولات الشطف ، بعد عمليات التحميض ، ولكنه يدخل تعقيدات في شبكة الأنابيب . وحتى الآن ، قلما استخدم مبادل كاتيونات الهيدروجين في ميدان غسل الملابس . والطريقة البديلة ، هي تخفيف القلوية بجهاز تيسير الماء بالجير البارد ، وتتبعها إزالة باقي العسرة بمبادل كاتيونات الصوديوم ، ولكن هذه الطريقة لا تلاقي ترحيباً ، لأن مؤسسة مشتركة كهذه ، ستكلف ضعف مؤسسة تبادل كاتيونات الصوديوم ، ومدى الاحتياجات أكبر بكثير ، ثم إن المعالجة شاقة أكثر ، وتفتقر إلى المؤونة ، نظراً للاختلافات الكبيرة في معدلات الجريان المتحصلة في المغسل .

الفصل السابع

تهيئة مياه البلدية

Municipal Water Conditioning

كما رأينا في الفصل الأول ، توفر المنشآت البلدية في معظم دول العالم الماء للمناطق السكنية وللاستخدامات التجارية والاستخدامات البلدية الأخرى ، في مختلف التجمعات .

استهلاك الماء Water Consumptions :

1. معدل الغالونات للشخص الواحد في اليوم :

يستهلك الشخص الواحد في اليوم 40 جالون كحد أدنى . والمدن التي هي كلياً تقريباً من النمط السكني ، قد تستهلك يومياً ما يتراوح معدله عادة من 40 . 80 جالون / شخص / يوم ، ولكن التجمعات السكنية في الدول المتقدمة قد تستهلك ما يصل معدله إلى 100 جالون / شخص/ يوم أو أكثر . أما المدن الصناعية واعتماداً على درجة التصنيع فيها ، فقد يتراوح معدل الاستهلاك فيها من 80 . 100 أو أكثر جالون / شخص / يوم . والاستهلاك الذي يرتفع إلى ما فوق هذا الرقم ، يحدث عادة فقط في المناطق الجافة تقريباً ، حيث يستخدم المورد البلدي من الماء للسقاية أيضاً .

2. المعدلات القصوى اليومية والساعيّة :

اكتشف بنتيجة الدراسة ، التي أجريت في العديد من المدن ، أن الاستهلاك الأقصى اليومي لا يتجاوز عادة 200 % من متوسط الاستهلاك اليومي ، وأن الاستهلاك الأقصى الساعيّ لا يتجاوز عادة 300 % من متوسط الاستهلاك الساعي . وقد أظهرت دراسات أحدث أنه في حين يكون معظم الاستهلاك الأقصى دون هذه الحدود العليا ، فإن هناك بعض الاستثناءات .

3. تقديرات الاستهلاك المستقبلي للماء :

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

من الواضح أنه يجب أن نتوقع حدوث تغيرات ، في المستقبل إضافة إلى الحاضر ، وفي مختلف أنماط المدن ، على عدد الجالونات التي يستهلكها الشخص الواحد في اليوم . وستكون أوسع الاختلافات بين المدن السكنية ، والمدن الصناعية بشكل كبير ، والتي تؤمن أيضاً جزءاً كبيراً من الماء الذي تستخدمه في صناعاتها ولذلك من الضروري ، عند تقدير الاستهلاك المتوقع من الماء في المستقبل ، دراسة كل حالة على حده ، وإجراء دراسة دقيقة لكافة العوامل التي يشملها هذا التقدير .

نوعية مياه الشرب : Drinking Water Quality

فيما يتعلق بالصفات الجرثومية ، وصفات التركيب الكيماوي ، فإن الشرط الأول الذي يجب توفره هو : أن يكون المورد البلدي للماء آمناً للشرب . إن معظم الموارد المائية الطبيعية ، وخصوصاً معظم المياه الجوفية الأكثر عمقاً ، تكون عند سحبها آمنة تماماً ، ولذلك وبقدر ما يتعلق الأمر بالأمان ، فإنها لا تحتاج إلى أكثر من حمايتها من التلوث فيما بعد . ومع ذلك فإن أغلب المياه السطحية ، وخصوصاً في المناطق المأهولة بكثافة ، وبعض المياه الجوفية أيضاً غير آمنة ، فتحتاج بالتالي إلى معالجة أو معالجات لجعلها آمنة قبل دخولها إلى أنظمة التوزيع . ومن المستحسن أن نضيف أيضاً ، أن هناك بعض المياه ، التي تلوثت كثيراً جداً ، وأنها عملياً، فوق متناول الإصلاح .

إن موارد المياه البلدية آمنة للشرب ، في كثير من البلدان لا في جميعها ، وذلك بسبب يقظة العاملين في المنشآت المائية لتلبية المعايير النوعية ، والمحافظة عليها ، والمراقبة الصارمة التي تقوم بتنظيمها السلطات الصحية . وهو إنجاز جدير إلى حد بعيد بالثناء ، لأنه يقصي هذه المواد البلدية من الماء كحامل محتمل لأمراض مرعبة يحملها الماء ، مثل الكوليرا ، والحمى التيفية ، ولكنه إجراء لا يحظى بالاستحسان والتقدير من قبل الناس العصريين ، لأنهم لم يعانوا ، لحسن

الحظ ، من رعب وباء الكوليرا أو وباء الحمى التيفية . ولكي يبقى الشعب مطمئناً في مثل هذه الجهالة السعيدة ، يصبح من الضروري ، إضافة إلى تلبية المعايير النوعية والمحافظة عليها ، إقصاء احتمالات التلوث اللاحق أيضاً .

ويتفاوت التطبيق العملي بالنسبة للسلطات الصحية التنظيمية ، في مختلف البلدان . ففي الولايات المتحدة الأمريكية ، تقوم الهيئات الصحية الحكومية بتنظيم الأمور داخل ولاياتها ، ويجب أن يحظى تصميم وتشغيل الضخ ومنشآت المعالجة بموافقتها ، كما يتوجب إخضاع العينات بشكل دوري ، للاختبارات الجرثومية والكيميائية . والمعايير النوعية المتبعة ، هي معايير المصالح الصحية العامة لمياه الشرب في الولايات المتحدة الأمريكية .

معايير المصالح الصحية العامة لمياه الشرب :

في كثير من الدول تم وضع معايير قياسية لمياه الشرب , لغرض تأمين سلامة مياه الشرب هذه ، وألزمت البلديات بتطبيقها حفاظاً على الصحة والسلامة العامة ، وذلك لكافة الموارد العامة لمياه الشرب .

العكارة واللون والطعم والرائحة :

يجب أن تكون مياه الشرب إضافة إلى كونها آمنة ، جذابة المنظر ، سائغة الطعم ، بالنسبة للناس لا يحبون شرب الماء عكراً أو غامق اللون ، ولا يستسيغون رائحته الشبيهة برائحة البيض الفاسد ، ولا طعمه الشبيه بطعم الخيار المتفسخ ، أو روائح الكلوروفينول الشديدة ، بغض النظر عن مدى سلامته للشرب . وفيما يتعلق بالمواصفات غير المرغوبة ، نذكر ما يلي :

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

يجب أن لا تتجاوز عكارة الماء 10 ppm (قشرة السيليكا) ، وأن لا يتجاوز اللون 20 (قشرة البلاتين كوبالت) . كما يجب أن لا يحمل الماء طعماً أو رائحة غير مرغوب فيها .

ويجب أن لا يحتوي الماء على زيادة في كمية المادة المعدنية الذوابة ، ولا على زيادة في أي من المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة وفي ظل الظروف العادية ، وسوف يكفي الدليل التحليلي على أن الماء يلبي المعايير الفيزيائية والكيمائية ، مع الدليل البسيط على أن الماء مقبول طعماً ورائحة لضمان جودته فيما يتعلق بالخواص الفيزيائية والكيميائية .

أما فيما يتعلق بالحدود القصوى المسموح بها من الرصاص والفلور والزرنيخ والسيلينيوم والكروم سداسي التكافؤ ، نذكر ما يلي :

إن وجود الرصاص (Pb) بزيادة 0,1 ppm والفلور بزيادة عن 1,5 ppm والزرنيخ بزيادة عن 0,05 ppm والسيلينيوم بزيادة عن 0,05 ppm والكروم السداسي التكافؤ بزيادة 0,05 ppm ، تشكل جميعها أسساً لرفض المورد المائي .

ولأغراض معالجة الماء لا يجب القيام بإضافة أملاح الباريوم ، أو الكروم السداسي التكافؤ ، أو غلوكوزيدات المعادن الثقيلة ، أو المواد الأخرى ذات التأثيرات الفيزيولوجية الضارة . يُجرى عادة تحليل نصف سنوي فقط لهذه المواد ، ولكن عند وجود افتراض ما بعدم صلاحيته بسبب إحدى هذه العناصر، عندئذٍ يتوجب القيام بمزيد من القياسات الدورية للعنصر الذي نحن بصدده . وحيثما تشير التجربة والفحص والدليل المتيسر إلى عدم وجود هذه المواد ، أو إلى احتمال وجودها في المورد المائي المستخدم ، فإن الفحص نصف السنوي لا يكون ضرورياً شرط أن يحظى هذا الإغفال بموافقة السلطات المختصة .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

الحدود المقترحة لمركبات النحاس والمنغنيز والمغنيزيوم والزنك والكلور والكبريتات والفينول :

فيما يتعلق بالحدود المقترحة لهذه المواد ، نذكر ما يلي :

يفضل أن لا يزيد وجود المواد الكيميائية التالية التي قد توجد في المياه الطبيعية أو في المياه المعالجة ، عن التراكيز المذكورة أدناه ، وحيثما توفرت موارد أخرى مناسبة أكثر حسب رأي السلطات المختصة :

الحديد (Fe) والمنغنيز (Mn) : يجب أن لا يتجاوزا معاً 0,3 ppm

النحاس (Cu) : يجب أن لا يتجاوز 3 ppm

المغنزيوم (Mg) : يجب أن لا يتجاوز 125 ppm

الزنك (Zn) : يجب أن لا يتجاوز 15 ppm

الكلور (Cl) : يجب أن لا يتجاوز 250 ppm

الكبريتات (SO_4) : يجب أن لا تتجاوز 250 ppm

المركبات الفينولية : يجب أن لا تتجاوز 0,001 ppm

إجمالي الجوامد المنحلة : يجب أن لا تتجاوز 500 ppm في الماء ذي النوعية الكيمائية الجيدة . ويمكن السماح بماء يبلغ إجمالي محتوى الجوامد المنحلة فيه 1000 ppm عند عدم توفر الماء الأول .

ملاحظة : على الرغم من أن البعض يفضل أن لا تتجاوز المواد الكيميائية التراكيز السابقة عند وجود موارد مناسبة ، وخصوصاً فيما يتعلق بالكبريتات والكلوريدات . فإن عدداً منهم ينظر بشك زائد لأي ماء يتجاوز حدود 250 ppm لا يصلح لأي استخدام بلدي عدا إطفاء الحريق .

ولكن هناك في الواقع عدة ملايين من الناس على الأقل ، يستخدمون موارد الماء البلدية التي يتجاوز فيها محتوى الكبريتات أو الكلور 250 ppm . وهناك فعلاً عدد من الموارد المائية البلدية التي تتجاوز هذه الحدود . ومن المعلوم أنه إذا كان محتوى الكبريتات أو الكلوريدات أعلى بكثير ، فإنها ستثبت في البداية أنها مياه مسّهلة بالنسبة للغريب . ففي إحدى البلديات مثلاً ، حيث يحتوي الماء على نسبة عالية من الكبريتات و الكلوريدات . ذكر السكان أن معظم القادمين الجدد يحتاجون من أسبوع إلى ثلاثة أسابيع قبل أن تتعود أجسامهم على الماء .

الحدود المقترحة للقلوية ولقيم الـ PH بالنسبة للمياه المعالجة كيميائياً :

تقترح الشروط التالية بالنسبة للمياه المعالجة كيمائياً :

يجب أن تتوفر الشروط الثلاثة التالية في المياه المعالجة كيميائياً ، أي المياه الميسرة بالجير أو الزيوليت ، أو المياه الأخرى المعالجة بتبادل الأيونات ، أو بأي من المعالجات الكيمائية الأخرى :

(1) يجب أن لا تتجاوز قلوية الفينول فثالين محسوبة كـ $CaCO_3$ عن 15 ppm زائد 0,4 أمثال إجمالي القلوية . ويحدد هذا الشرط قيمة الـ PH المسموح بها بـ 10,6 بدرجة 25 مئوية .

(2) يجب أن لا تتجاوز قلوية الكربونات الطبيعية عن 120 ppm وبما أن القلوية الطبيعية هي وظيفة تركيز أيونات الهيدروجين وإجمالي القلوية ، فإن هذا الشرط يمكن أن يتوفر بإبقاء إجمالي القلوية ضمن الحدود المقترحة أدناه ، عندما تكون قيمة الـ PH ضمن المدى المفترض . وتنطبق القيم على الماء بدرجة 25 مئوية .

حد إجمالي القلوية (ppm as $CaCO_3$)	مدى الـ PH
400	8 - 9,6
340	9,7
300	9,8
260	9,9
230	10
210	10,1
190	10,2
180	10,3
170	10,4
160	10,5، 10,6

(3) إذا تسببت المعالجة الكيمائية بزيادة القلوية ، فإن إجمالي القلوية يجب أن لا تتجاوز العسرة بأكثر من 35 ppm (محسوبة كـ $CaCO_3$) .

إزالة العكارة واللون : Turbidity and Color Removal

قد تحصل بلدية ما على موردها المائي من :

(1) مورد جوفي . أو

(2) مورد سطحي . أو

(3) جزء منه من مورد جوفي وجزء الآخر من مورد سطحي .

والموارد المائية الجوفية ، وخصوصاً أكثرها عمقاً ، تكون في العادة نقية ، وعملياً عديمة اللون ، ولكن بعضها يحتوي على الحديد و/ أو المنغنيز ، وبعضها الآخر على كبريت الهيدروجين . وعلى الرغم من نقاء بعض المياه السطحية ، وخلوها عملياً من اللون ، فإن أكثرها يحتوي على كميات محسوسة من العكارة و/ أو اللون . وفي التطبيق العملي للترشيح البطيء بالرمل ، يمكن غالباً إزالة العكارة بدون تخثير ، ولكن تأثير هذا التطبيق ضئيل في تخفيف اللون . وفي التطبيق الحديث للترشيح السريع بالرمل ، يزال اللون والعكارة بالتخثير ، والترويق ، والترشيح . وإذا احتوى الماء الخام على كميات كبيرة إلى حد ما من راسب خشن ، حينئذٍ يمكن للترسيب أن يسبق الخطوات الأخرى هذه .

<u>الترسيب (الترسيب البسيط) :</u>

تشير عبارة **ترسيب** كما استخدمت خلال كامل النص ، إلى الترسيب الذي يحدث بدون مساعدة التخثير . أما الترويق فيشير إلى ترسيب الماء المخثّر

إذا احتوى الماء الخام على كميات كبيرة من المواد المعلقة الغير ذوابة ، ومن بينها مواد خشنة إلى حد يكفي لإزالتها بسهولة بالترسيب ، فقد يسبب الترسيب الذي يسبق التخثير والترويق والترشيح ، وفراً جديراً بالاهتمام . وفي الممارسة البلدية ، يشيع جداً جمع المياه السطحية ، فتنتجز البحيرة ، أو البركة ،

أو الخزان المتشكل من المياه المتجمعة درجة مرضية جداً من الترسيب . وفي حالات أخرى قد تتمتع أحواض الترسيب ، ذات فترات الاحتجاز التي تقاس بالساعات بدلاً من الأسابيع أو الأشهر أو حتى السنوات ، بالأهمية إذا كان الماء الخام يحمل محتوى عالياً من راسب خشن نسبياً .

التخثير والترويق :

إن مادة التخثير الأكثر استخداما في منشآت الترشيح البلدية ، هي كبريتات الألومنيوم (الشب أو الشبّة Alum) . وتعطي صيغة الناتج الصلب في العادة كـ $Al_2 (SO_4)_3 .18 H_2O$ ، ولكن الناتج التجاري يحمل عادة محتوى أقل من الماء حوالي 13 أو 14 مول بدلاً من 18 . وهو متوفر أيضاً على شكل محلول ينقل في عربات أو شاحنات صهريجيه أو على شكل بلورات صلبة . وهناك مواد تخثير أخرى تستخدم في منشآت الترشيح البلدية هي : كبريتات الحديد وألومينات الصوديوم . وقد نحتاج إضافة إلى المواد المخثرة ، وخصوصاً مع الماء الخام الذي يحمل لوناً غامقاً وعكارة خفيفة ومادة معدنية منحلة ، إلى مساعد لمادة التخثير كالطين ، أو السيليكا المنشطة ، أو إلى واحدة من المواد العديدة الكهارل المساعدة لمواد التخثير الأكثر حداثة ، وتعرف بأسماء تجارية مختلفة . يجب اختيار مصدر الطين قبل استخدامه ، لأن الطين بمختلف أنواعه ، يتفاوت إلى حد كبير في خواصه كمساعد لمادة التخثير . وتحضّر السيليكا المنشطة عن طريق تفاعل السيليكات مع حمض الكبريت المخفف . وهناك مواد أخرى تستخدم بدلاً من حمض الكبريت هي : كبريتات الأمونيوم ، وثاني أكسيد الكربون ، والكلور .

يمكن إجراء التخثير والترويق في أحواض وصهاريج الترويق . وأدوات تشكيل الكتل المتلبدة من مختلف التصاميم ، ولكن وحدات تماس الجوامد المعلقة أو وحدات الدثار العكر ، التي دخلت ميدان الاستخدام منذ حوالي عشرين سنة ، أصبحت هي النمط الأكثر استخداماً في المنشآت الحديثة . يجري في هذه

الوحدات تخثير الكتلة المتلبدة وتطويرها أثناء جريان الماء نزولاً من خلال جزء داخلي ، ثم يرتفع ويرشح صعوداً من خلال دثار معلق مؤلف من رواسب تشكلت سابقاً في جزء خارجي .وعند انبثاقه من سطح علوي خفيف التموج ، يتدفق صعوداً إلى حنفيات عادية ومنها يمر إلى مرشّحات رمل سريعة (معدل ترشيح سريع) يمكن تقسيمها إلى نمطين رئيسيين :

(1) مرشحات الرمل السريعة الترشيح من نمط الثقالة :

وتستخدم على نطاق واسع لترشيح الموارد المائية البلدية ، وتؤيد استخدامها معظم الهيئات التنظيمية لترشيح الموارد السطحية من الماء . ومعدل الترشيح محدود عادة بـ 2 جالوناً في الدقيقة في القدم المربع ، ولكن بعض البلديات تستخدم معدلات أعلى تصل إلى 2,5، 3 جالون / دقيقة / قدم2 ويبلغ المعدل القياسي في التطبيق الصناعي 3جالون/دقيقة /قدم2

(2) مرشحات الرمل السريعة من النمط الضغطي :

وتستخدم على نطاق واسع لإزالة الحديد و/ أو المنغنيز من المياه الجوفية .

تصنع أغلفة مرشحات الرمل السريعة من نمط الثقالة من الكونكريت أو الفولاذ ، ولكنها تصنع غالباً من الكونكريت . في الماضي كانت تستخدم أحياناً الأغلفة الخشبية لكنها قلما تستخدم في هذه الأيام . والأغلفة الكونكريتية هي عادة مستطيلة الشكل ، ولكن الوحدات ذات الحجم الأصغر تكون مربعة والأكبر مستطيلة وتكون هذه الأغلفة أسطوانية عند استخدام الفولاذ . قد يكون الوسط المرشِّح من الرمل ، ومن هنا جاء اسم (المرشحات الرملية) . أو قد يكون من الأنثراسيت المسحوق والمتدرج . فإذا كان الوسط المرشِّح رملاً تكون الطبقات الداعمة تحت رمل الترشيح الناعم مؤلفة من رمل خشن ، ومن عدة طبقات من الحصى المتدرج وإذا كان الوسط المرشِّح من الأنثراسيت ، فإن الطبقات الداعمة قد تكون من الأنثراسيت المتدرج أو من الانثراسيت والحصى المتدرج.

وأثناء الترشيح تتسبب تراكمات المادة المرشِّحة في سد سرير الترشيح على نحو تدريجي فتزداد بذلك المقاومة لجريان الماء من خلاله . وعندما تصل المقاومة إلى نقطة مقدرة سلفاً ويتراوح فقدان الضغط عادة من حوالي 8 . 12 قدماً ، في مختلف المرشحات من النمط الضغطي (تستخدم المرشحات الرملية السريعة من نمط الثقالة ، والآلية العديمة الصمامات ، فقدان ضغط يتراوح من 4 . 5 قدماً) ، فإن الوحدة المرشِّحة تفصل من العمل ، وتنظف بالغسل الراجع ، ثم تعاد إلى العمل. تصل معدلات الغسل الراجع في المرشحات الرملية من نمط الثقالة إلى 20جالوناً / دقيقة / قدم2 ، إذا لم تكن مزودة بمواد غسل سطحية ، وإلى 15 جالون / د / قدم ، إذا كانت مزودة بمثل هذه المواد . وتصل هذه المعدلات في مرشحات الانثراسيت من نمط الثقالة إلى 15 جالون / دقيقة / قدم2 ، إذا كانت غير مزودة بمواد غسل سطحية ، وإلى 12جالون / د / قدم2 ،إذا كانت مزودة بهذه المواد .

تقام المرشحات بالثقالة عادة على شكل مجموعات مؤلفة من وحدتين أو أكثر، إلا إذا كانت حاجات الماء قليلة نسبياً . في المنشآت القديمة كانت جذوع الصمامات البوابية في رواق الترشيح تمتد عبر أرضية تشغيل ، وتعمل الصمامات من حوامل أرضية . وعلى الرغم من استمرار استخدام الحوامل الأرضية إلى حد ما ، إلا أن التطبيق الحديث اتجه على نطاق واسع ، إلى الصمامات البوابية التي تشغَّل هيدروليكياً ، حيث تربط إلى منصات تشغيل فوق أرضية التشغيل . ويمكن تشغيلها يدوياً ، كما يمكن أن تكون نصف آلية ، أو آلية بالكامل . كما تركب عادة مقاييس فقد الضغط ، ومقاييس العمق ، والمقاييس الأخرى على منصات التشغيل .

يستخدم عادة معدل مستقل لجهاز تنظيم الجريان مع كل وحدة ترشيح ، للمحافظة على انتظام هذا المعدل على الرغم من اختلافات الضغط المرتد ، الذي يحدث أثناء سير الترشيح . ونحتاج عادة ، من أجل تنظيم الغسل الراجع ، معدلاً

واحداً فقط للغسل في جهاز تنظيم الجريان ، الذي يوضع في أنبوب رئيسي عادي للغسل الراجع لأن وحدة ترشيح واحدة تغسل فقط في كل مرة .

ملاحظة : سنأتي في الفصل 13 على وصف التخثير ، والمواد المخثرة ، ونمط تماس الجوامد المعلقة (الدثار العكر) ، وعلى نمط معدات التخثير والترويق ، الذي يشكل الكتل المتلبدة . أما أجهزة التغذية بالمواد الكيمائية ، والمعلومات المتعلقة بالمواد التجارية للتخثير ، والمواد الأخرى الكيميائية ، فسوف نجدها في الفصل 12 ، وسنأتي في الفصل 13 . أيضاً على وصف مرشحات الرمل والأنثراسيت السريعة من نمط الثقالة ، وكذلك أجهزة التنظيم والقياس ، الخ . ويبين جزء سرعة الترشيح 2 جالون / د / قدم2 في الجدول 11. 13 رقماً نموذجياً لوحدات وحجوم المرشحات ، مع معلومات مطابقة من أجل وحدات الترشيح البلدية ، ذات القدرة 70.000 . 500.0000 جالون / يوم .

وقد دخلت الميدان البلدي مؤخراً <u>مرشحة الرمل السريعة الآلية الصمامات ، ومن نمط الثقالة</u> ، وهي آلة تدل على براعة الإبداع ، وتكون عندما تعمل المرشحة فقدان ضغط إلى درجة مقررة سلفاً ، هي عادة 4. 5 قدماً ، وتغسل رجوعياً بشكل آلي ، وبحجم ثابت من الماء ، وترشح آلياً أيضاً دفعتها التالية من ماء الغسل الراجع ، وبعدئذٍ تعود آلياً لاستئناف العمل . وسنأتي في الفصل 13 على توضيح ووصف مبادئ عملها .

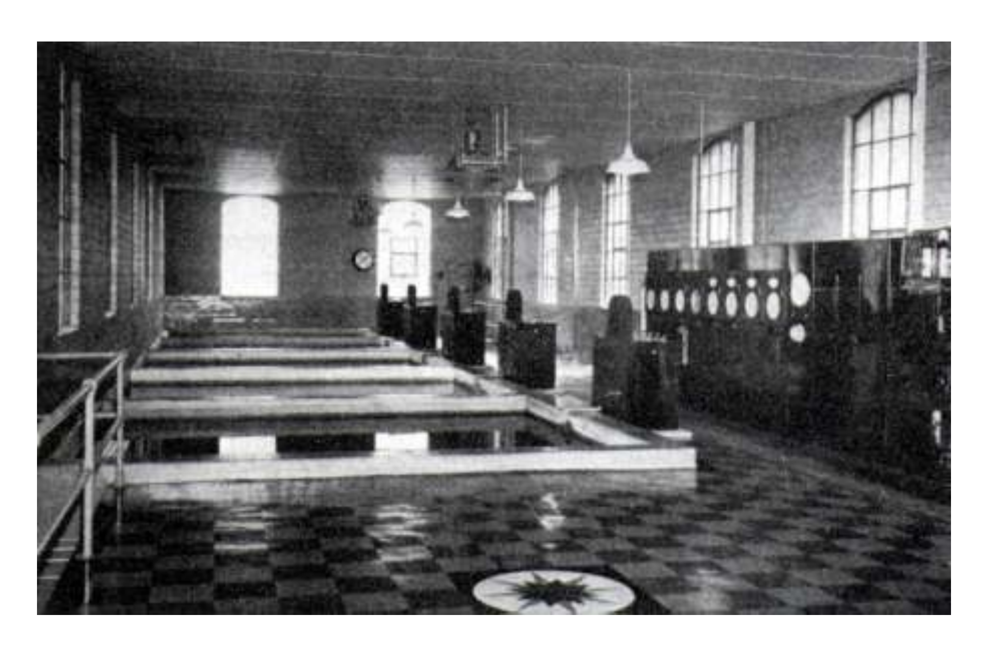
<u>أما المرشحات الرملية السريعة من النمط الضغطي</u> فلها تصميمان :

النمط العمودي ، والنمط الأفقي . يتراوح حجم مرشحات الضغط العمودية من 30. 120 إنشاً قطراً وبمعدلات جريان من 9 . 235 جالون / د للوحدة عند 3 جالون / د / قدم2 .

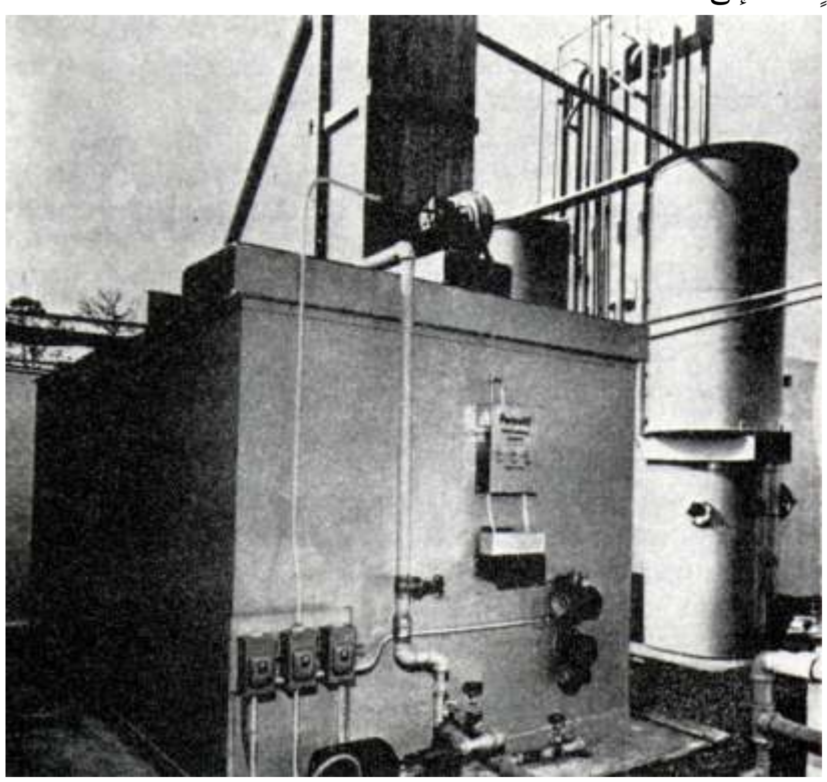
أما المرشحات الأفقية فتبلغ 8 قدماً قطراً ومن 10 قدماً و 25 قدماً طولاً ، بقدرات تتراوح من 201. 216 جالون / د عند 3 جالون / د / قدم2. وتبلغ معدلات الغسل الراجع 10 جالون / د / قدم2 .



الصورتان 1 ـ 7 و 2 ـ 7 . وحدة لتنقية مياه نهر تصل عكارته حتى ppm 1500 عن طريق تخثير الدفق الصاعد في جهاز ترسيب من النمط العمودي ، يظهر أعلاه ، وبعد ذلك ، بالترشيح من خلال خمسة مرشحات تعمل بالثقل ، تظهر في الأسفل ، قدرة هذه الوحدة 2.500.000 جالون / يوم .



وفي التطبيق البلدي ، يقترن استخدام هذه المرشحات بمعالجة المياه الجوفية كما في إزالة الحديد أو المنغنيز من المياه التي تحمل الحديد و/ أو المنغنيز ، والتي سبقت معالجتها بالتهوية والترويق . وتستخدم المرشحات من النمط الضغطي ، على نطاق واسع ، في الاستخدامات الصناعية . وعند التشغيل يستمر عمل المرشحة إلى أن يرتفع فقدان الضغط إلى حوالي 5 . 8 باونداً في الإنش المربع ، وعندئذٍ تفصل الوحدة من الخدمة ، وتغسل رجوعياً ، لعدة دقائق وبعدئذٍ تعاد إلى الخدمة .



الصورة 3 . 7 منشأة لإزالة اللون وتيسير الماء بالجير البارد ، وتتألف من جهاز ترسيب أفقي (إلى اليسار) يتم فيه تيسير الماء وتخثيره ، وترويقه ، وبعدئذ يتم ترشيح الماء المروّق من خلال جهازي ترشيح آليين عديمي الصمامات من النمط البلدي (إلى اليمين) . القدرة 72.000 جالوناً / يوم .

إضافة إلى الرمل والانثراسيت ، كوسيط ترشيح ، تستخدم أوساط أخرى للترشيح من أجل استعمالات خاصة . تحمل مرشحات التعادل مساحيق

الكالسيت Calcite كأوساط ترشيح ، يمكن استخدامها إضافة للأغراض الصناعية ، في التجمعات الصغيرة (1) لمعادلة المياه العدوانية ، ورفع قيم الـ PH إلى 7,2 . 7,3 بشكل ألي أو (2) لاستقرار الماء المعالج .

وتستخدم مرشحات الكربون المنشط الحبيبي كوسط ترشيح، للاستخدامات الصناعية ، ولإزالة الطعوم والرائحة ، من الموارد المائية البلدية القليلة نسبياً . وتستخدم مرشحات المنغنيز زيوليت الحبيبي كوسط ترشيح ، وتستخدم في التطبيق الصناعي والبلدي لإزالة الكميات الصغيرة (1 ppm أو أقل) من الحديد و/ أو المنغنيز من المياه ، التي تحتوي عليهما شكل بيكربونات ذوابة ثنائية التكافؤ .

التعقيم Disinfection :

يمكن إجراء التعقيم عن طريق استخدام : (1) الكلور ، (2) ثاني أكسيد الكلور ، (3) الكلوراميدات Chloramides ، (4) الهيبوكلوريدات ، (5) الأوزون .

(1) الكلور :

هو مادة التعقيم الأوسع استخداماً ، كما أنه عامل مؤكسد شديد جداً . يوجد على شكل غاز مسال في اسطوانات ضغطية تحتوي على 100 ، أو 150 أو 2000 ليبره ويمكن استخدامه قبل طرق المعالجة الأخرى أو بعدها ويمكن استخدامه أيضاً عند نقطة أو أكثر من جهاز التوزيع (إعادة المعالجة بالكلور).

(2) ثاني أكسيد الكلور:

عامل مؤكسد قوي جداً ، يحضّر في التطبيق البلدي على شكل محلول ، عن طريق تفاعل الكلور مع كلوريت الصوديوم . يستخدم لأكسدة الطعم والرائحة غير المرغوبين ، الناتجين عن المواد العضوية كما يستخدم أيضاً من أجل تأثيره المعقم .

(3) الكلوراميدات :

تحضّر عن طريق تفاعل الكلور مع الأمونيا . والكلوراميدات ليست عوامل أكسدة قوية أو سريعة كالكلور أو كالهيبو كلوريدات ، لكنها ذات أهمية في المحافظة على ثمالات الكلور .

(4) تستخدم الهيبو كلوريدات غالباً بدلاً من الكلور المسال في معالجة الموارد المائية القليلة . وتوجد على شكل (مسحوق قصر) (يدعى أيضاً هيبوكلوريد الكالسيوم) ، الذي يكافئ في قدرته المؤكسدة 35 . 70 % من الكلور الفعّال .

(4) والأوزون هو :

شكل تآصلي غير مستقر من الأكسجين ، يعدّ بتمرير تفريغ كهربي صامت عالي الفلطية خلال تيار من الهواء . وهو مهم في أكسدة الطعم والرائحة اللتين تنتجان من المواد العضوية ويحمل تأثيراً شديداً مبيداً للجراثيم ، لكنه ينحل بسرعة كبيرة إلى الحد الذي لا يمكن معه المحافظة على تأثير ثمالي مؤكسد .

إزالة الطعوم والروائح : ***Removal of Tastes and Odor***

تعزى الطعوم والروائح الكريهة في المياه عادة إلى مختلف المركبات العضوية (باستثناء رائحة البيض الفاسد في المياه الكبريتية ، والتي تعزى إلى غاز هو كبريت الهيدروجين) . وبما أن هذه المركبات تختلف إلى حد كبير ، في التركيب والخصوصية ، ليس فقط في المياه المختلفة ، ولكن بين حين وآخر ، في المياه نفسها . لذلك ينصح عادة بإجراء اختبارات أولية لإيجاد أفضل الطرق لإزالة الطعوم والروائح . وبما أن هذه المركبات تحمل درجة ما من التطايرية فإن التهوية غالباً ما تكون مهمة كخطوة أولية . والمعالجة بالكلور بالجرعات العادية ، قد تزيل بعض الروائح ، ولكنها قد تشدد روائح أخرى ، في حين قد تزيلها تماماً الجرعات الأكبر من الكلور أو استخدام ثاني أكسيد الكلور ، أو الأوزون . ويعتبر الكربون المنشط ، مع كثير من المياه عاملاً ممتازاً لإزالة الطعوم والروائح . وكما

رأينا سابقاً ، فإن مرشحات الكربون المنشط ، تستخدم على نطاق واسع لإزالة الطعوم والروائح لاستخدامات معينة صناعية وتجارية ، وإلى مدى محدد للموارد المائية البلدية البسيطة . انظر (مرشحات الكربون المنشط) في الفصل 13 .

وفي البلديات الأكبر يستخدم مسحوق الكربون المنشط على نطاق واسع ، وبسبب ما تحققه من طول التماس يكون بشكل خاص فعالاً في نمط الجوامد المعلقة من معدات التخثير والترسيب ، مثل جهاز الترسيب . ولكن أهمية الكربون ضعيفة في إزالة كبريت الهيدروجين من المياه الكبريتية . وإذا كان محتوى الكبريت الكبريتي خفيفاً ، فإن التهوية في جهاز تهوية قسرية ، كالجهاز المزيل للغاز سيكون فعالاً إذا تلته المعالجة بالكلور. وإذا كان محتوى القلوية ومحتوى الكبريت عاليين ، فإن إزالتهما ليست بالمسألة السهلة . انظر (كبريت الهيدروجين) في الفصل 3 .

إزالة الحديد والمنغنيز : Iron and Manganese Removal

في مياه الآبار العميقة التي تحمل الحديد ، وتحتوي على قلوية البيكربونات ، يوجد الحديد على شكل بيكربونات الحديد الذوابة العديمة اللون $Fe\ (HCO_3)_2$. ويمكن إزالة الحديد من هذا الشكل :

(1) بأكسدته إلى هيدروكسيد الحديد الغير ذواب ، وبالترويق والترشيح (تحدث الأكسدة عادة بالتهوية لكنها قد تحدث أيضاً بواسطة عوامل مؤكسدة كالكلور أو الهيبوكلوريتات ، أو ثاني أكسيد الكلور) .

(2) بطريقة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) ، التي تزيل الحديد والعسرة معاً .

(3) بالترشيح من خلال مرشحة المنغنيز زيوليت (تقتصر هذه الطريقة على المياه التي تحتوي على مالا يزيد عن 1 ppm من الحديد) .

(4) وللاستخدامات الصناعية ، بطريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين .

ويمكن إزالة المنغنيز الموجود على شكل بيكربونات منجنيزية ($Mn(HCO_3)_2$) بالطرق نفسها ، لكنه باستخدام الطريقة (1) ، يحتاج لأن تكون قيمة الـ PH أعلى مما يتطلبها الحديد ، سواء حدث التأكسد عن طريق التهوية ، أو عن طريق المعالجة بالكلور . وفي المياه الحمضية قد يوجد الحديد و/ أو المنغنيز على شكل كبريتات لهما مكافئة ($FeSO_4$ أو $MnSO_4$) ، يمكن إزالتها بالتهوية متبوعة بالتعادل ، وتعزيز لقيمة الـ PH ، وبالترويق والترشيح . قد يوجد الحديد في (المياه الحمراء) كلياً أو جزئياً على شكل هيدروكسيد الحديد اللاذواب $Fe(OH)_3$ ، يمكن إزالته بالترويق والترشيح ، أو بالتخثر والترويق والترشيح ، ويفضل كثيراً أن تُسبق هذه العمليات بالتهوية . وكثيراً ما يوجد الحديد و/ أو المنغنيز العضوي (المستخلب) في المياه الغامقة اللون ، ويمكن إزالته بالتخثير ، والترويق والترشيح ، وتسبق هذه العمليات عادة التهوية

ملاحظة 1 :

انظر (الحديد) و(المنغنيز) في الفصل الثاني والفصل 14 حول (إزالة الحديد والمنغنيز) .

ملاحظة 2 :

مرشحات الرمل البطيئة (المرشحات الإنكليزية) : إن أول نمط استخدم من المرشحات لتقنية الموارد المائية البلدية ، هو مرشحة الرمل البطيئة ، أو المرشحة الإنكليزية ، التي أنشئت في إنكلترا خلال القرن التاسع عشر . وقد لاقى هذا النمط استخداماً واسعاً في كل مكان ومازالت تقدم خدمة طيبة وكذلك هي حالها في كثير من البلدان الأخرى .

وتتألف مرشحة الرمل البطيئة عادة من حوض كونكريتي ، مغطى أو مكشوف ، مزود بمصارف سفلية فوقها طبقة من حصى خشن ، وفوق هذه عدة طبقات متتالية من مادة أنعم ، تليها طبقة من رمل الترشيح الناعم بثخانة 3 .5 قدماً . لقد عملت مرشحة الرمل البطيئة الأصل بدون استخدام مادة تخثير . وبدلاً من ذلك تم تطوير الشموتسديك Schmutzdecke ، على السطح وفي الطبقة العليا من الرمل ، فأزالت العكارة بشكل فعال ، وخففت إلى حد كبير من المحتوى الجرثومي.

وفيما بعد دخلت طبعاً المعالجة بالكلور ميدان الاستخدام العام ،كمعقم لصبيب المرشحات . أما مع المياه التي تحتوي على عكارة تزيد على30PPM ، يمكن القيام بشكل مامن أشكال المعالجة الأولية ، كالترويق مع أو بدون تخثير ، أو قد تكون فترات عمل المرشحة قصيرة جداً ، ويكل ما تعنيه . ونوع الشموتسديك قد يسبب اختلافاً في أداء المرشحة . وعلى أية حال إذا تراكمت طبقة الشموتسديك بثخانة على إحدى الوحدات ، أثناء عمل المرشحات ، بحيث يصل فقدان الضغط إلى

درجة عالية جداً ، فإن هذه الوحدة تفصل من العمل ،وتجفف تدريجياً ، ويكشط الرمل من الأعلى بسماكة إنش أو هكذا ، ثم تغسل ، وتجمع من أجل استخدام آخر أو أنها تستخدم في تعبئة مرشحة أخرى ، وبعدئذٍ تعاد الوحدة إلى الخدمة . قد تتراوح فترات تشغيل المرشحة أقل من أسبوع في أسوأ الظروف . إلى خمسة أسابيع أو أكثر من أفضل الظروف عندما تخفف عمليات الكشط من ثخانة سرير الترشيح إلى درجة معروفة سلفاً تملأ المرشحة برمل مغسول منضج ، ثم تعاد إلى العمل . تتراوح معدلات الترشيح عادة من 2.000.000 ـ 6.000.000 جالوناً يومياً ، ويصل بعضها إلى ما يزيد عن 8.000.000 . وفي الوحدات المعروفة أكثر يتراوح هذا المعدل من 0,032 ـ 0,128 جالوناً / د / قدم2 .

تيسير المياه : Water softening

إذا كان المورد المائي البلدي صالحاً لأغراض الشرب ، لا يعني هذا أيضاً أنه صالح تماماً لأغراض أخرى ، كالتسخين ، والطبخ ، والغسل ، والاستحمام ، وغسل الملابس ، وشطف الصحون الخ ، في بيوت المستهلكين . فزيادة العسرة مثلاً ، قد تشكل بسرعة قشوراً في أجهزة تسخين الماء ، وفي شبكات أنابيب الماء الساخن ، مما يسبب ضعف الجريان ، وفي النهاية ، تسبب انسداداً وأعطالا خطيرة جداً ، بحيث يكون إصلاحها أو استبدالها مكلفاً جداً . والعسرة تبدد أيضاً أجزاء كبيرة من الصابون المستخدم في غسل الملابس ، وترسب في المواد المغسولة خثارات صابون كالسيومية ومغنيزيومية . إن هذه الخثارات لا تحول دون التنظيف الكامل فقط ، الذي يؤدي إلى حؤول الألوان ، وتطوير روائح زنخة ، وإنما يضعف الألياف أيضاً ، ويجعلها هشة ، وبالتالي يقصّر من عمرها النافع . وبقدر ما يتعلق الأمر بالراحة الشخصية ، فإن الغسل ، والاستحمام ، وغسل الشعر بالشامبو ، والحلاقة ، ستكون إذا لم نبالغ غير مرضية ولا ممتعة . وبسبب هذه الأضرار ، تقوم اليوم كثير من البلديات بتيسير مواردها المائية ، ويزداد هذا العدد باستمرار . لا تُيسّر البلديات مواردها المائية إلى عسرة الصفر ، بل إلى ثمالة معدلها 85 ppm (5غ / جالون) تتراوح هذه الثمالة في مختلف البلديات من 50 -120 ppm (3 ـ 7 غ / جالون) ، فتهيئ ماء أفضل بكثير طبعاً ، وأكثر صلاحية من الماء الشديد العسرة ، الذي كان يستخدم سابقاً . وتيسير المياه

البلدية يفيد أيضاً جميع مستخدميها ، بمن فيهم أولئك الذين يقتنون أجهزة منزلية لتيسير الماء ، لأنهم يحصلون على قدرات أكبر بكثير من قدرات أجهزتهم .

إن تيسير الماء العسر لا يجعل الحياة بالنسبة للمواطنين مريحة أكثر ، وممتعة فقط ، وإنما يوفر عليهم أموالهم أيضاً . ويبلغ معدل التوفير في أسعار الصابون وحدها حوالي 3 . 4 تكاليف مواد التيسير والتصحيح الكيمائية التي تستخدم في منشأة لتيسير المياه البلدية . وقد قدر أيضاً ، وبشكل متحفظ ، أن الوفر المتحقق في العمل والإصلاح ، والاستبدال ، إضافة إلى الوفر المتحقق من جراء امتداد عمر المواد يعادل الوفر المتحقق في الصابون .

إن السبب في استخدام التيسير بطريقة الزيوليت (مبادل كاتيونات الصوديوم) ، هو تخفيض استهلاك الملح عن نمط العسرة الموجودة في المياه العسرة . ولكن هذا ليس هو الواقع في طريقة الجير صودا الباردة ، لأن تكاليف المواد الكيماوية المستخدمة ، تختلف وفقاً لما إذا كانت العسرة التي تتوجب إزالتها هي عسرة بيكربونات الكلسيوم، أو عسرة بيكربونات المغنزيوم ، أو عسرة لا كربونات الكلسيوم ، أو عسرة لا كربونات المغنزيوم ، كما سنوضح في مكان آخر من هذا الفصل . واعتماداً على كميات وطبيعة العسرة ، التي تتوجب إزالتها ، وعلى التكاليف المحلية للمواد الكيماوية أو الملح ،فإن تكاليف التيسير بطريقة الجير صودا الباردة ، قد تكون أقل إلى حد ما ، أو أعلى تقريباً من تكاليف التيسير بطريقة الزيوليت . وفيما يتعلق بتكاليف الملح ، فإنها تتفاوت في مختلف المواقع ، ولكن بما أن استهلاك الملح يقدر بالباوندات ، فإنه يمكن بسهولة حساب التكاليف في أي موقع بالحصول على التكاليف المحلية لشحنات الملح وتطبيقها .

المنظفات التركيبية : Synthetic Detergents

لقد أثبتت التجارب بشكل واضح ، أن مواد التنظيف التركيبية ، تعمل في المياه اليسرة على نحو أفضل مما تفعله في المياه العسرة ، وليس هذا فقط ، بل

تتسبب أيضاً في إحداث تخفيضات مهمة في الكميات اللازمة من مواد التنظيف. ومن الواضح تماماً أيضاً ، إن إضافة مادة التنظيف بعد مرور الماء العسر من خلال جهاز تسخين الماء ، وخطوط الماء الساخن ، وتثبيتاتها سوف لن يؤثر بأية حال في التخفيف من تشكل القشرة فيها . ولذلك وعلى الرغم من أن هذه المواد تخفف بدون شك ، و إلى درجة ما ، بعضاً من مشاكل الغسل بالماء العسر ، إلا أنها لا تعتبر بأية حال علاجاً عاماً لكل علل الماء .

وعلى الرغم أيضاً من أن المواطنين يستفيدون من الوفر في الصابون ، ومواد التنظيف والعمل والإصلاح ، والإبدالات التي تنتج عن تيسير المياه ، ويعجبون بها جداً ، إلا أنهم يعجبون أكثر بما توفره لهم من راحة ويسر . وعلى أية حال ، إن الاعتبارات الجمالية ، إضافة إلى الوفر ، بغض النظر عن الوفر المتحقق في مواد التنظيف والصابون ، قد تفوق تكاليف تخفيف العسرة .

عمليات تيسير مياه البلدية :

Municipal Water Softening Processes

هناك طريقتان أساسيتان لتيسير ماء الموارد البلدية ، وطريقة ثالثة تجمع بين هاتين الطريقتين :

1. الطريقة الباردة لتيسير الماء بالجير (أو الكلس صودا) .
2. طريقة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) .
3. طريقة تيسير الماء بالجير البارد وبمبادل كاتيونات الصوديوم (طريقة الكلس زيوليت) ذات المرحلتين :

1. الطريقة الباردة لتيسير الماء بالجير (أو الكلس صودا) .

في طرق الترسيب الباردة هذه يمكن استخدام الكلس المطفأ $Ca(OH)_2$ وحده لتخفيف عسرة البيكربونات فقط (المعروفة عادة بعسرة الكربونات) ، أو الكلس

المطفأ مع رماد الصودا Na_2CO_3 ، لتخفيف عسرة البيكربونات وعسرة اللاكربونات . فإذا استخدمنا الكلس المطفأ فقط ، عندئذٍ تدعى الطريقة بطريقة الكلس الباردة . وتدعى بطريقة الكلس صودا الباردة ، إذا استخدمنا الكلس المطفأ ورماد الصودا ولكن تعبير (طريقة الكلس صودا الباردة) ، يستخدم عادة ليشمل الطريقتين . إضافة إلى هذه المواد الكيماوية الأولية ، يمكن أيضاً إضافة كمية بسيطة من مخثّر الألومنيوم ، ككبريتات الألومنيوم ، أو مختر الحديد ، لأن الرواسب الناتجة تكون ناعمة جداً ، فيصبح التخثير ضرورياً لإحداث ترويق وترشيح جيدين . تستثنى من ذلك طريقة السبيركتور Spiractor أو الحافز التي تتشكل فيها كربونات الكلسيوم على الحبيبات الحفازة وتلتصق إليها بشدة بحيث لا نحتاج إلى مادة مخثّرة .

الكلس المطفأ والكلس الكيميائي : بدلاً من شراء الكلس المطفأ يمكن شراء الكلس الكيمائي (الكلس الحي) وإطفاؤه قبل الاستخدام ، حسب التفاعل التالي :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

إن استخدام الكلس الكيميائي بدلاً من الكلس المطفئ يسبب وفراً في تكاليف المعالجة ، وفي التماس مع الماء ، إلا إذا كانت معدات الإطفاء مناسبة ، وبسبب الحرارة الكبيرة التي يطلقها أثناء التفاعل ، يجب تفادي استخدامه . والجرعات الكيمائية الواردة في الفصل 18 ، لتخفيف مختلف أنواع العسرة بالطريقة الباردة للترسيب ، تقوم على أساس نقاوة 90 % للكلس الكيميائي ، و93 % للكلس المطفأ ، و98 % لرماد الصودا .

الرواسب الناتجة كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم :

إن عسرة الكلسيوم التي تزال بهذه الطرق الباردة للتيسير ، وثاني أكسيد الكربون الطليق ، والكلس المطفأ الذي كان أضيف إلى الماء ، يترسبون على

شكل كربونات كلسيوم $Ca\ CO_3$. وتترسب عسرة المغنزيوم ، التي تزال على شكل هيدروكسيد مغنزيوم $Mg\ (OH)_2$. وبما أن هذه الرواسب ضئيلة الذوبان ، فسوف تخلف بعضاً من عسرة ثمالية في الصبيب النقي المرشّح . وإذا أجريت المعالجة لتخفيف عسرة الكلسيوم والمنغنزيوم بقدر الإمكان بدون إفراط في المواد الكيماوية ، فستكون هذه الثمالة حوالي 68 ppm (4غ / جالون) .

المواد الكيماوية المطلوبة والتكاليف النسبية للمعالجة :

سوف نتحدث بالتفصيل في الفصل 18 عن المواد الكيميائية اللازمة لإزالة العسرة بمختلف درجاتها من مختلف نماذج الماء ، إضافة إلى التحدث عن التفاعلات ذات العلاقة . وباختصار نحتاج إلى مكافئ واحد من الكلس المطفأ لإزالة مجموعة واحدة من عسرة بيكربونات الكالسيوم وإلى مكافئين لإزالة مجموعة واحدة من عسرة بيكربونات المغنزيوم . وإلى مكافئ واحد من رماد الصودا لإزالة مجموعة من واحدة من عسرة لاكربونات الكالسيوم ، وإلى مكافئ واحد من رماد الصودا ، ومكافئ واحد من الكلس المطفأ لإزالة مجموعة واحدة من عسرة لاكربونات المغنزيوم . وعلى الرغم من أن الوزن المكافئ للكلس المطفأ أعلى ، وثمنه أكثر من الكلس الكيميائي ، إلا أن هاتين المادتين الكيمائيتين رخيصتا الثمن . ورماد الصودا أغلى ثمناً ، ووزنه المكافئ أعلى منه في الكلس الكيميائي والكلس المطفأ ، ولهذا تكون تكاليف إزالة عسرة اللاكربونات أعلى منها في إزالة عسرة البيكربونات .

وكما نلاحظ في الجدول 3 . 18 ، الذي يقوم على أساس متوسط أسعار الكلس الكيمائي ورماد الصودا ، فإن كلفة إزالة كمية ما من عسرة بيكربونات المغنزيوم تبلغ ضعف كلفة إزالة الكمية نفسها من عسرة بيكربونات الكالسيوم وحوالي خمسة أضعاف إزالة عسرة لاكربونات الكالسيوم ، وحوالي ستة أضعاف إزالة عسرة لاكربونات المغنزيوم . ويمكن حساب أرقام الكلفة للمعالجة الصحيحة

في أي موضع من الأسعار المحلية للكلس الكيميائي المطفأ ورماد الصودا عند الحاجة . وقد أوردنا الجداول المناسبة في الفصل 18 .

أجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد :

إن منشأة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد كما تستخدم في التطبيق البلدي ، تتألف بصورة أساسية من :

(1) أجهزة تغذية بالمواد الكيماوية .

(2) وحدة أو وحدات أجهزة التيسير ، التي تحدث فيها تفاعلات التيسير والتخثير وترويق معظم الرواسب .

(3) مرشّحات لإزالة آخر آثار العكارة .

(4) بئر نقية Clear well ، يضخ منها الماء للخدمة .

وإذا كان الماء يحتوي على الحديد و/ أو المنغنيز ، أو إذا كان محتواه من ثاني أكسيد الكربون عالياً ، أو إذا كان الماء كبريتياً ، فإنه تضاف إلى ذلك عملية التهوية قبل وحدة أو وحدات جهاز التيسير ، وينصب جهاز التهوية أو جهاز نزع الغاز على حامل ، بحيث يتم الحصول على الجريان بالثقالة إلى وحدة أو وحدات جهاز التيسر .

وتمارس في بعض المنشآت عملية إعادة الكربنة ، وفي هذه العملية تندفع غازات المداخن المنبعثة من مدخنة أو من حارق لفحم الكوك ، أو للزيت ، أو للغاز، أولاً عبر جهاز لغسل الغاز ، وبدخولها بعدئذٍ شبكة مسامية ، تمر صعوداً عبر الماء المعالج والمروّق في صهريج إعادة الكربنة ، الذي يتوضع قبل المرشحات .

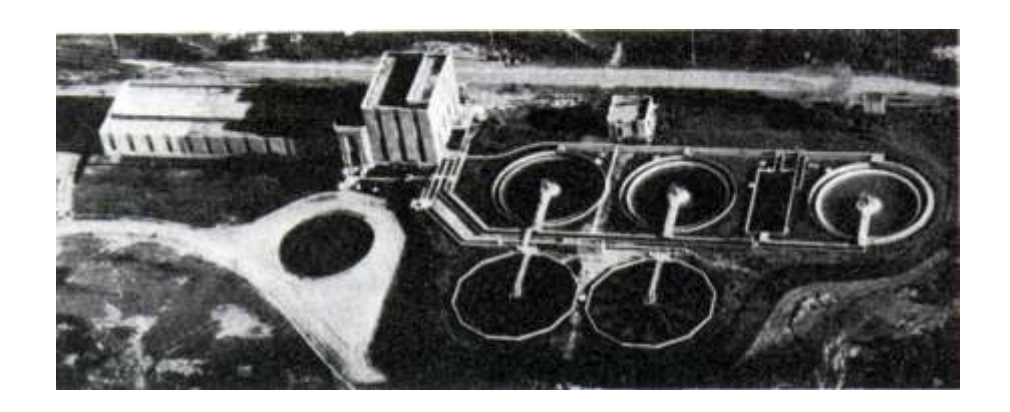
إن اقدم نمط لتيسير الماء بالكلس صودا على البارد هو نمط الدفعة , في هذه الطريقة ، يملأ صهريج بالماء ، وتمزج فيه بالتحريك جرعة موزونة من المواد الكيميائية ، وتروّق الدفعة لمدة أربع ساعات أو أكثر ، وبعدها يسحب الماء المعالج أو المروّق من العكارة ثم يرشح . ولكن عملياً أبطل استخدام هذه الطريقة

، واستبدلت بالطرق المستمرة ، التي يجري فيها تيسير الماء أثناء تدفقه عبر المنشأة . وهناك ثلاثة أنماط أساسية من هذه المعدات :

(1) نمط (تماس الجوامد المعلقة) أو الدثار العكر .

(2) نمط أقدم ويعرف بالنمط (التقليدي) .

(3) نمط الحافز أو السبيراكتور Spiractor .



الصورة 4 . 7 . منشأة لتيسير وتنقية الماء بالكلس البارد . تبلغ قدرة كل من أجهزة الترسيب الثلاثة 600.0000 جالون / يوم ، ويجري تيسير الماء من عسرة تبلغ 160 ppm (93 غ / جالون) إلى85 ppm (5غ / جالون) عن طريق المعالجة بالكلس البارد والتخثير والترويق في خمسة من أجهزة الترسيب ، يلي ذلك الترشيح من خلال مرشحات تعمل بالثقل .

1ً– نمط تماس الجوامد المعلقة (الدثار العكر Sludge Blanket) :

يختلف تماس الجوامد المعلقة أو الدثار العكر لجهاز تيسر الماء بالكلس صودا على البارد عن النمط التقليدي ، في أن الماء الميسر يرشح صعوداً من خلال دثار من رواسب تشكلت سابقاً ، في حين لا يمكن إجراء مثل هذا الترشيح في النمط التقليدي من المعدات ، لأن الرواسب تستقر ، وتتجمع في قاع جهاز التيسير على شكل كتلة خاملة . وباختصار يجري أولاً في وحدات تماس الجوامد المعلقة كأجهزة الترسيب العمودية والأفقية ، مزج المياه الخام والمواد الكيماوية

بصورة تامة في أحد أجزاء جهاز الترسيب . وبعد انبثاق الماء من قاع هذا الجزء ، يتم ترشيحه صعوداً من خلال دثار من رواسب تشكل سابقاً في جزء ثانٍ .

وبسبب هذا الترشيح الصاعد من خلال دثار من الرواسب المعلقة ، فإن نمط تماس الجوامد المعلقة لأجهزة التيسير ، يتميز بكثير من الفوائد عن النمط التقليدي . ومن بين هذه الفوائد أن الحجم المطلوب من المعدات أصغر بكثير ، لأن فترات التوقيف فيها أقصر ، فتصبح بالتالي متطلبات الحيز الأرضي أقل ، ونقاء أكبر للصبيب ، وفعالية أكبر لاستخدام المواد الكيماوية ، وسرعة أكبر في تفاعلات التيسير ، وفي معظم الأحوال طرح (الرواسب اللاحقة) دون الحاجة إلى معدات إعادة الكربنة ، إلا إذا احتجنا إلى تخفيض قيمة الـ PH .

فيما يتعلق بالمادة الكيميائية الرئيسية المستخدمة ، وهي الكلس المطفأ ، فإن الجزء الأكبر منها ، في التطبيق الأمريكي ، يدخل الماء على شكل مادة جامدة معلقة ، وبسبب ضآلة ذوبانيتها فإن بعضاً منها يستقر في العكارة ، عندما يستخدم النمط التقليدي من المعدات ، وقبل تفاعله مع عسرة الماء الذي يجري تيسيره في نمط تماس الجوامد المعلقة من المعدات ، ولأن الماء الميسر يجري ترشيحه أيضاً باتجاه الأعلى من خلال دثار من الرواسب المعلقة ، فإن التماس الوثيق الناتج يتيح عملياً إفادة تامة من تعليق الكلس المطفأ ، وتظهر الاختبارات أن الوفر في الكلس المطفأ يتراوح من 5. 20% عند استخدام الكربون المنشط فإن طول ووثاقة التماس الناتج عن استخدامه في وحدات تماس الجوامد المعلقة يحققان ، وفراً حتى 30 % .

<u>ملاحظة</u> : للكلس المطفأ ذوبانية محدودة جداً في الماء وهي فقط عندما يعبر عنه كـ $Ca(OH)_2$ 1769 ppm (103,2 غ / جالون) بدرجة 32 ف ، و 1500 ppm (87,5غ / جالون) بدرجة 86 ف ، و 657 ppm (383غ / جالون) بدرجة 212 ف . فإذا عبر عنه بدلاً من ذلك كمكافئات لـ $CaCO_3$ ، تصبح هذه الذوبانية 2390 ppm (139,4 غ / جالون) بدرجة 32 ف ، 2095 ppm (118,2غ / جالون) بدرجة 86 ف ، و 888 ppm (51,8غ / جالون) بدرجة 212ف.

وفيما يتعلق بنقاء الماء الميسر في وحدات تماس الجوامد المعلقة ، فعلى الرغم من أنه يبدو عادة للعين المجردة نقياً تماماً ، عند انبثاقه من سطح دثار الجوامد المعلقة المتموج قليلاً ، إلا أنه يحتوي على بعض العكارة ورغم أنها ضئيلة جداً بحيث لا يحتاج الماء معها إلى تصفية إضافية مع عدد من الاستخدامات الصناعية . إلا أنه في التطبيق البلدي يجري دائماً ترشيح الصبيب قبل استخدامه .

ملاحظة : انظر الفصل 18 فيما يتعلق بالأوصاف المفصلة للوحدات العمودية والأفقية ، والصور التوضيحية التي تظهر الإنشاءات الداخلية لهذه الوحدات ، والمواد والتفاعلات الكيميائية ، التي تتضمنها طريقة الكلس صودا الباردة ، وطرق الحساب المستخدمة لتحديد جرعات المواد الكيميائية اللازمة لمختلف النماذج المائية .

2َ– الأنماط التقليدية :

في الأنماط التقليدية القديمة لأجهزة تيسير الماء بالكلس صودا على البارد يتألف جهاز التيسير عادة من صهريج أسطواني طويل من الفولاذ ، مزود بماسورة داخلية نازلة ينتهي طرفها السفلي فوق قاع جهاز التيسير ببضعة أقدام. يجرى الماء الخام والمواد الكيميائية المضافة نزولاً ، عبر الماسورة النازلة ثم ترتفع ببطء خلال جهاز التيسير إلى مصرف عند السطح ، تجرى منه المياه المعالجة إلى أجهزة الترشيح فيستقر الجزء الأكبر من الرواسب المتشكلة في قاع جهاز التيسير على شكل عكارة ثخينة تسحب دورياُ وتهدر .

وفيما بعد استخدمت أحواض مستطيلة من الكونكريت ، بدلاً من الصهاريج الطويلة الأسطوانية من الفولاذ وخصوصاً في التطبيق البلدي ، وازدادت مؤخراً إلى حد كبير فعاليات المنشآت باستخدام أحواض المزج المزودة بأجهزة تحريك تدار بالطاقة ، تقام قبل أحواض الترويق (وتعرف بأحواض الترسيب) . كانت العكارة تزال بعدة طرق ، منها أنظمة شبكات الأنابيب المثقبة والحنفيات الجانبية في قاع حوض الترويق ، أو المكاشط التي تدار بالطاقة الخ . واستخدمت أيضاً أجهزة

لإعادة تدوير العكارة ، تعاد بواسطتها العكارة ، المتجمعة من قاع حوض الترويق إلى الماء المعالج ، وتمزج معه .

تراوحت فترات التوقف المتبعة في الأنماط التقليدية من أجهزة التيسير بالكلس صودا على البارد من ساعتين في الحد الأدنى إلى أكثر من 8 ساعات ، وربما كانت فترة التوقف لمدة أربع ساعات ، هي الأوسع انتشاراً . وفي الأنماط الأقدم من المعدات جربت فترات الـ 12 ساعة ، في محاولة للتغلب على فرط التشبع ، ولكن اكتشف أن إعادة الكربنة أكثر فعالية في التغلب على فرط التشبع ، وعلى(الرواسب اللاحقة) الناتجة فوق حبيبات رمل المرشحات وفي نظام التوزيع .

3ً- نمط السبيراكتور (الحافز catalyst) Spiracter Type :

في نمط السبيركتور أو الحافز من المعدات ، تعالج المياه بالكلس المطفأ أثناء ارتفاعها صعوداً في حركة دوامية ، عبر سرير معلق من مادة حفازة ، قد تتألف من كلسيت مسحون ومتدرج أو وهو الأكثر شيوعاً من دقائق الرمل الأخضر . تغطي كربونات الكلسيوم ، التي تتشكل أثناء المعالجة ، الجزئيات الحفازة برواسب شديدة اللصوقية فتتسبب في زيادة حجمها . وفي فترات دورية تزال الحبيبات المتضخمة ، التي تتجمع في الجزء الأسفل من السبيراكتور ، وتضاف مادة حفازة جديدة . ومن بين الفوائد التي يحققها استخدام هذا النمط من المعدات ، هو اختزال فترات التوقف ، والتي تتراوح من 8. 12 دقيقة ، وإنتاج ناتج حبيبي ثانوي بدلاً من العكارة . أما مساوئه فتتلخص فقط في أن كربونات الكلسيوم تشكل رواسب لصوقة ، بينما لا يشكل هيدروكسيد المغنزيوم مثل هذه الرواسب ، ولذلك تقتصر المعالجة عادة على إزالة عسرة الكلسيوم وحدها . وينبغي أيضاً أن لا تهبط درجة حرارة المياه المعالجة إلى مادون ˚50 ف . ولهذا السبب استخدمت هذه الطريقة في الحقل البلدي على نطاق محدود فقط . انظر الفصل 18 .

إزالة الحديد والمنغنيز بطريقة تيسير المياه بالكلس صودا على البارد :

يمكن بسهولة كبيرة إزالة الحديد و/ أو المنغنيز ، عند وجودهما على شكل كربونات ذوابة في جهاز تيسير الماء بالكلس صودا على البارد ، وذلك بواسطة تهوية الماء قبل أن يدخل جهاز التيسير وجهاز التهوية الذي قد يكون حوض الكوك، أو حوضاً خشبياً للملح ، أو من نمط التهوية القسرية أو أي نمط آخر ، يركب عادة فوق جهاز التيسير لكي يؤمن له جرياناً بالثقل . وبسبب الارتفاع النسبي لقيمة الـ PH في جهاز التيسير ، فإن مركبات الحديد و/ أو المنغنيز الذوابة ، تتأكسد عندئذٍ بسرعة إلى أكاسيدهما العليا المميّأة الغير ذوابة (هيدروكسيد الحديد والهيدروكسيد المغنيزي) وتترسب . ويمكن بالطريقة نفسها ، وبصورة جزئية أو كلية تخليص المياه الحمضية ، التي تحتوي على هذين المعدنين ، على شكل كبريتات لهما . وتطبيق التهوية أيضاً مع المياه ذات المحتوى العالي من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، لتخفيفه إلى مادون 10 ppm ، لتزال هذه الثمالة بعد ذلك عن طريق الترسيب كما تزال كربونات الكلسيوم في طريقة التيسير .

طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) :

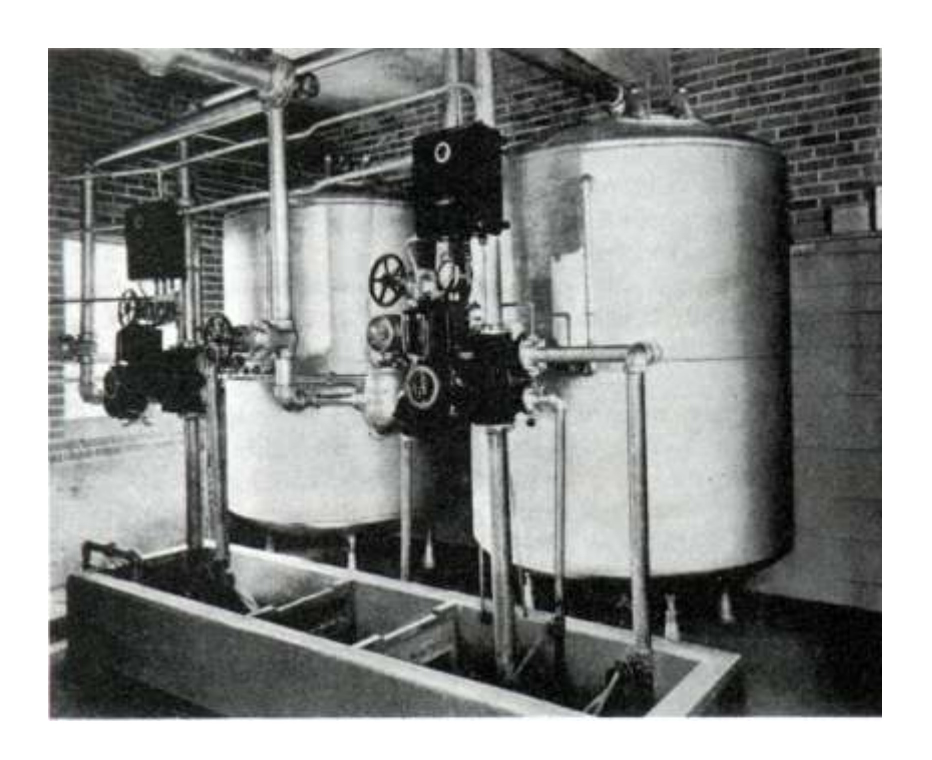
في تيسير الموارد المائية البلدية بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) ، يتم بصورة كاملة تيسير جزء من المياه العسرة ، عن طريق تمريره عبر أجهزة التيسير ، وبعدئذٍ يمزج هذا الدفق مع دفق من المياه العسرة لإعطاء صبيب ممزوج بالتركيب الذي نريده . فإذا أردنا مثلاً تيسير مياه تحتوي على 340 ppm (20غ / جالون) من العسرة إلى ثمالة 85 ppm (5غ / جالون) ، فإنه يتوجب تعديل التدفقات النسبية بحيث يمتزج مع كل ثلاثة حجوم من المياه الميسرة كلياً ، حجم واحد من المياه العسرة من مجرى جانبي .

قد تكون وحدات أجهزة التيسير المستخدمة من النمط الضغطي وهو النمط الأوسع انتشاراً أو من نمط الثقالة ، وتقام هذه الوحدات عادة على شكل مجموعات ، تتكون من مجموعتين أو أكثر ، بحيث لو جرى تجديد إحدى هذه الوحدات ،

فإن الوحدة أو الوحدات الأخرى تتحمل كامل العبء ، وبذلك نضمن تأمين مورد لا ينقطع من الماء الميسّر . لا حاجة بنا لأن نذكر بأن الوحدات تعمل على أساس زمني متداخل ، بحيث لا تحتاج وحدتان في آن واحد إلى تجديد . وأياً كان نمط الوحدة المستخدمة فهي تحتوي على مبادل لكاتيونات الصوديوم من النمط الحبيبي أو الخرزي (زيوليت) معززاً بعدة طبقات من الحصباء المتدرجة . واعتماداً على عسرة الماء ، الذي هو قيد التيسير ، ونمط مبادل كاتيونات الصوديوم المستخدم ، وطول شوط التيسير الذي نريده فإن عمق السرير يتراوح من 2. 7 قدماً .

إن كل ما نحتاجه لتيسير الماء العسر بهذه الطريقة هو جعل الماء يجري نزولاً عبر جهاز التيسير وعندما يتلامس الماء العسر مع مبادل كاتيونات الصوديوم الغير ذوابة ، تعزل كاتيونات الكلسيوم والمغنزيوم ، التي تشكل العسرة ، فيحتجزها المبادل ، ويعطي مقابلها كمية مكافئة من كاتيونات الصوديوم إلى الماء . وفي نهاية شوط التيسير ، الذي قد يمتد من 4 . 8 ساعات ، تفصل الوحدة من العمل ، ثم يجري تجديدها . ويتكون التجديد من ثلاث مراحل ، وتعرف بالغسل الراجع ، والتمليح ، والشطف . ينجز الغسل الراجع عن طريق تمرير دفق صاعد قوي من الماء من خلال السرير بقصد تفكيكه ، وتنظيفه ، وإعادة التدرج إليه هيدروليكياً ، أما التمليح فيتم بإسالة حجم معروف سلفاً من محلول الملح العادي (كلور الصوديوم) عبر السرير . وعندما يتلامس الملح مع مبادل كاتيونات الصوديوم ، يزيل منه الكلسيوم والمغنزيوم المتراكمين على شكل كلوريدات ذوابة لهما ، ويعيد في نفس الوقت مبادل الكاتيونات إلى حالته الصوديومية السابقة . ويتألف الشطف من تنظيف جهاز التيسير من كلوريدات الكلسيوم والمغنزيوم إضافة إلى أي زيادة من الملح , وبعد الشطف ، تعاد وحدة جهاز التيسير إلى العمل ، وهي جاهزة لتيسير كمية مساوية إضافية من الماء العسر . يتراوح إجمالي الوقت الذي

تستغرقه عمليات التجديد المذكورة من 1–2 ساعة ويمكن تشغيل وحدات جهاز التيسير يدوياً أو آلياً .



الصورة 5 ـ 7 منشأة لتيسير الماء بمبادل كاتيونات (زيوليت) . مجموعة وحدات مزدوجة من أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، تعمل بصورة آلية تامة ، وتيسر بصورة كاملة % 80 من الماء ، ويمتزج الماء الميسر بدفق بنسبة % 20 من مجرى جانبي للماء العسر . وبالتالي تخف عسرة الماء الأصلية 223 ppm (13 غ / جالون) إلى ثمالة تبلغ 45 - 05 ppm (2.9 -2.6غ / جالون) . قدرة المنشأ 360.000 جالون / يوم .

التشغيل الآلي : Automatic Operation

في التطبيق البلدي ، تستخدم على نطاق واسع جداً ، أجهزة التيسير التي تشغل آلياً ، وقد تكون هذه الأجهزة من النمط الضغطي ، أو من النمط الذي يعمل

بالثقالة . ففي النمط الضغطي ، يركّب عادة صمام متعدد الفوهات ، يشغّل بمحرك ، فوق مقدمة كل وحدة من وحدات أجهزة التيسير .

وفي نمط الثقالة يستخدم صمام تحكم يشغّل بمحرك ، مركب على منصة تحكم ، لتشغيل الصمامات الهيدروليكية على أجهزة التيسير .

وفي كلتا الحالتين المبدأ هو نفسه . حيث يزود عداد الماء فوق كل خطوط وحدات صبيب الماء اليسر برأس تماس كهربائي ، وبجهاز لإعادة الضبط . وعند نهاية مجرى التيسير ، يثبّت تيار كهربائي لتدوير الصمام إلى وضعية الغسل ، من أجل غسل الوحدة رجوعياً . ويتم التحكم بطول فترة الغسل الرجوعي بواسطة مفتاح توقيت كهربائي .

وفي نهاية هذه الفترة يثبت تيار من جديد لإدارة الصمام إلى وضعية الملوحة، وفي هذه الوضعية ، يتم إدخال حجم مقدر سلفاً من محلول مشبع ، من صهريج لقياس الملوحة ، إلى جهاز التيسير بواسطة قاذف هيدروليكي . وبعد إدخال المحلول الملحي إلى جهاز التيسير ، يقوم مفتاح كهربائي يعمل بعوامة ، بتثبيت تيار يدير الصمام إلى وضعية الشطف . يتم التحكم بفترة الشطف بواسطة مفتاح توقيت كهربائي ، وفي نهاية هذه الفترة يدور الصمام إلى وضعية التيسير ، التي تعيد جهاز التيسير إلى وضعية التيسير . وفي غضون ذلك يكون العداد قد عاد آلياً إلى وضعه الأول ، استعداداً لشوط التيسير التالي .

أحواض تخزين الملح الرطب :

في التطبيق البلدي يتم عادة شراء الملح اللازم بمقادير كبيرة مقدرة بحمولة الشاحنة ، ويختزن تحت الماء في أحواض لتخزين الملح الرطب . وهي أحواض كونكريتية مستطيلة ذات حنفية قاعية مغطاة بطبقات من الحصى المتدرج ، يضخ من خلالها المحلول الملحي المشبع إلى حوض لقياس الملوحة ، يقوم قريباً من مجموعة من أجهزة التيسير . يقع جزء من هذه الأحواض تحت الأرض بحيث تكون سطوحها المغطاة على ارتفاع مناسب لإسقاط الملح فيها من خلال فتحات

بصورة مباشرة من السيارات أو من الشاحنات . وتتراوح سعة هذه الوحدات المفردة من 45.000 . 120.000 ليبره من الملح وتستخدم عدة وحدات عندما نريد تخزيناً أكبر

استهلاك الملح :

نتبين من تصفح الجدول 5 . 15 في الفصل 15 أن استهلاك الملح يختلف باختلاف أنماط مبادلات كاتيونات الصوديوم ، وذلك حسب القدرة التي يجري تشغيلها بها . فيمكن مثلاً تشغيل النمط الراتنجي العالي القدرة لمبادل كاتيونات الصوديوم ، بقدرات تتراوح من 20 كيلو قمحة (1 كيلو قمحة = 1000 قمحة من العسرة معبراً عنها ككربونات كلسيوم) إلى 27 كيلو قمحة بالقدم الكعب ، لكنه يحتاج فقط إلى 0.275 ليبره من الملح بالكيلو قمحة من العسرة التي تزال بقدرة أدنى ، مقارنة بـ 0,5 ليبره من الملح للقدرة الأعلى . أو بمعنى آخر يحتاج فقط إلى 55 % من الملح لإزالة الكمية نفسها من العسرة من حجم ما من الماء العسر عند تشغيله بقدرة أدنى مما لو شغِّل بقدرة أعلى .

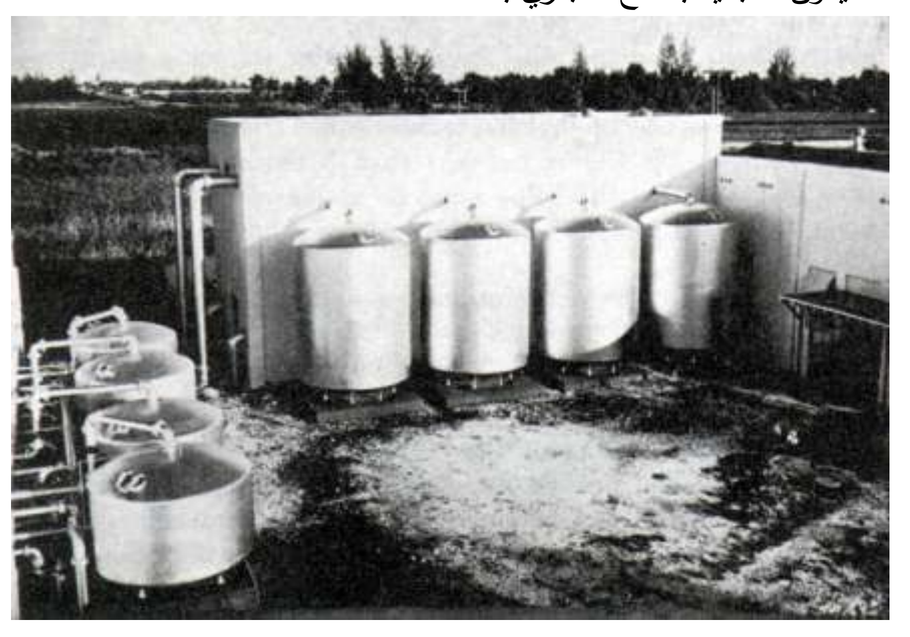
مثال : نريد تيسير 1.000.000 جالوناً من الماء من عسرة 15غ / جالون (257 ppm) إلى ثمالة 5غ / جالون (86 ppm) لذلك تكون العسرة المزالة مقدرة بالكيلو قمحة : $\frac{10\times1000000}{1000}=10000$ كيلو قمحة .

فعند تشغيل المبادل بهذه القدرة الأدنى يكون استهلاك ملح التجديد 10000 × 0,2750ليبره = 2750 ليبره . وعند تشغيله بالقدرة الأعلى يكون استهلاك الملح 10000× 0,5 ليبره= 5000 ليبره .

التجديد بمياه البحر :

يمكن استخدام مياه البحر في المدن الساحلية ، وذلك بعد معالجتها بالكلور وترشيحها ، بدلاً من شراء الملح لتجديد منشآت تيسير المياه بمبادل كاتيونات .

الصوديوم . وفي بعض المراكز الداخلية أيضاً ، وحيث تتوفر المياه المالحة بتركيب مناسب يمكن استخدامها كمواد مجددة . تحتوي مياه البحر على حوالي 3,5 % من أملاح تتألف من 2,7 % من الملح العادي (كلور الصوديوم) ، و 0,8 % من أملاح أخرى أهمها أملاح الكلسيوم والمغنزيوم . وبما أن كلور الصوديوم في مياه البحر بشكل فقط 77 %من إجمالي الأملاح فإن القدرات في القدم المكعب لمبادلات كاتيونات الصوديوم المجدة بماء البحر تكون أقل منها عندما يكون التجديد بالملح التجاري بنقاء 98 % .



الصورة 6. 7 منشأة لتيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت) المتجددة بماء البحر . إلى اليمين أربع من 12 وحدة لأجهزة تيسير الماء الكاملة الآلية . إلى اليسار أربعة من أجهزة ترشيح مياه البحر تبلغ عسرة مياه الآبار الخام 291 ppm (17غ / جالون) ، تخفف إلى ثمالة 85 ppm (5غ / جالون) ، عن طريق تيسير 70 %من المياه الخام ومزج المياه الميسرة مع 30% من ماء مجرى جانبي . قدرة المنشأة 8.500.000 جالون / يوم .

تتراوح قدرات المبادلات من مختلف الأنماط عند تجديدها بمياه البحر من 40 .60 % من قدراتها الخاصة عند تجديدها بالملح التجاري . ولذلك تحتاج منشأة مجددة بماء البحر إلى كمية من مبادل الكاتيونات هي بمقدار 1,5 . 2,5 ضعفاً للكمية التي ينبغي استخدامها في منشأة متجددة بالملح العادي ، وبالقدرة ذاتها وبالتالي تكون تكاليف رأس المال بالنسبة لمنشأة مجددة بماء البحر ، أعلى من التكاليف في منشأة متجددة بالملح ، ولكن تكاليف التشغيل بمياه البحر تكون أدنى بكثير إلى الحد الذي يمكن بسهولة معه حساب فرق الكلفة البدئية .

على الرغم من الندرة الكبيرة للمنشآت المجددة بمياه البحر ، إلا أن هناك عدداً من أجهزة تيسير المياه البلدية والصناعية التي تجدد بالمحاليل الملحية الطبيعية ، والشروط العامة التي يجب أن تتوفر في مادة التجديد ، هي أن لا تقل الملوحة عن 3 % ، و أن لا يقل محتوى الكلور (على شكل Cl) عن ثلاثة أضعاف إجمالي العسرة (على شكل $CaCO_3$) ، و أن يكون المحلول الملحي متوازناً كيميائياً ، وخالياً من الزيت أو كبريت الهيدروجين أو كلور الباريوم ، أو الشوائب الأخرى الضارة .

ملاحظة : انظر الفصل 15 لمزيد من المعلومات حول أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم والرسوم التي تبين البناء الداخلي لأجهزة التيسير ، وصهاريج قياس المحاليل الملحية ، وصهاريج وأحواض تحزين السائل الخ ، والتفاعلات التي تتضمنها عمليتا التيسير والتجديد .

إزالة الحديد والمنغنيز بطريقة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم :

يمكن إزالة الحديد و/ أو المنغنيز عند وجودهما على شكل بيكربونات ذوابة لهذين المعدنين ، بطريقة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم مع إزالة العسرة في الوقت نفسه . علاوة على ذلك يزال هذان المعدنان عند تجديد المبادل المستعمل بالملح من سرير مبادل الكاتيونات في وقت واحد مع إزالة الكلسيوم والمغنزيوم وبالشكل نفسه ، أي عندما يكونان على شكل كلوريدات لهذين المعدنين .

كان التطبيق العادي بأجهزة التيسير بالرمل الأخضر ، يهدف إلى إنقاص كميات الحديد إلى حد 10 ppm في مياه بعسرة 343 ppm (20 غ / جالون) أو أكثر . أما كميات الحديد التي يمكن إزالتها بالنمط الراتنجي العالي القدرة لمبادل كاتيونات الصوديوم فهي أعلى بكثير .

فيما يتعلق بدرجة إزالة الحديد والمنغنيز التي ينجزها النمط الراتنجي العالي القدرة من مبادل كاتيونات الصوديوم فإن الأرقام المعتدلة التي يجب أن تزال إليها هذه المعادن ، هي 0.1 ppm أو 1% من محتوى الحديد والمنغنيز في الصبيب ، مهما كان هذا المحتوى عالياً . وبما أن الغالبية العظمى من المياه العسرة التي تحمل الحديد و/ أو المنغنيز تحتوي على أقل من 10 ppm من هذين المعدنين وتصل عسرتها في الواقع إلى أكثر من 20 ppm (1,2 غ / جالون) ، فإن هذا يعني أن لا يحتوي صبيبها الميسر على أكثر من 0.1 ppm من الحديد أو المنغنيز . وفيما يتعلق بالمياه الاستثنائية التي تحتوي على كميات أعلى من هذه المعادن غير المرغوبة ، فإن المدى الذي يمكن أن تزال إليه في هذه العملية ، يمكن حسابه بسهولة من القواعد السابقة ، لكن يجب أن نلاحظ أن المدى يجب أن يكون أكثر من 30 ppm قبل تجاوز حد 0.3 ppm في الصبيب

يزال الحديد والمنغنيز عند تيسير المياه البلدية بهذه الطريقة فقط من المياه الميسرة كلياً ، لذلك يجب معالجة المياه الفرعية التي يتوجب مزجها مها على نحو منفصل لإزالة محتواها من الحديد أو المنغنيز . فإذا لم يكن هذا المحتوى أعلى بكثير من 1 ppm فإنه يمكن إزالته بسهولة بمرشحة أو مرشحات المنغنيز زيوليت ، التي تزيل فقط الحديد و/ أو المنغنيز ، إنما دون أن تيسير الماء . إن مادة التجديد المستخدمة في مرشحات المنغنيز زيوليت هي برمنجانات البوتاسيوم ، مع كمية بسيطة من الهواء ، يمكن إدخالها إلى المياه قبل هذه المرشحات ، وذلك لإنقاص الكمية اللازمة من مادة التجديد . وإذا كان محتوى الحديد في الماء أعلى بكثير من 1 ppm ، فإنه يمكن أن تكون معالجة المياه الفرعية بالتهوية والترويق

والترشيح اقتصادية أكثر . وإذا احتوى الماء على كمية بسيطة من المنغنيز ، فيمكن أن تعقب عملية الترويق والترشيح ، عملية بواسطة مرشحات المنغنيز زيوليت .

ملاحظة :

هناك طريقة أخرى لتيسير الموارد البلدية من الماء ، وإزالة الحديد أو المنغنيز منها بطريقة مبادل كاتيونات الصوديوم ، كانت تقضي بزيادة تشغيل أجهزة التيسير ، وهو تتابع عملها في إزالة الحديد أو المنغنيز ، حتى بعد استنزاف قدرتها على توفير الماء الميسر كلياً . وكان التطبيق العملي لهذه الطريقة يتطلب استخدام مجموعة ، تتألف على الأقل من أربع وحدات من أجهزة التيسير ، التي تعمل على أساس زمني متداخل ، ويزداد تشغيل إحدى الوحدات في كل مرة ، بينما تستمر الوحدات الأخرى في عملها ، بحيث يتم الحصول على صبيب ممزوج خال من الحديد ، ميسّر إلى الثمالة المرغوبة . ولكن عند القيام بتجديد إحدى الوحدات ، كانت الوحدات الباقية فقط ، هي التي تقوم بالعمل ، لذلك لم تكن درجة اليسر ثابتة . ولهذا السبب قلما يستخدم هذا النظام في المنشآت الجديدة .

إزالة الحديد قبل التيسير :

في التطبيق البلدي ، يُحرر كثير من المياه العسرة ، التي تحمل الحديد من هذا المحتوى ، إذا كانت خالية من المنغنيز ، وذلك عن طريق تهوية وترويق وترشيح كامل هذه المياه ، قبل تيسيرها بطريقة مبادل كاتيونات الصوديوم . وبعدئذٍ يجري بشكل كامل ، تيسير جزء من المياه العسرة الخالية من الحديد ، بواسطة وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم ، ثم يخرج هذا الجزء مع جزء آخر من المياه العسرة الخالية من الحديد ، ويتم تعديل الصبيب ، وصولاً إلى الثمالة المرغوبة .

إن معظم المياه العسرة الحاوية على الحديد ، لا تحتوي على المنغنيز ، لذلك يمكن تطبيق هذه الطريقة على هذا النوع من المياه وكما ذكرنا سابقاً إن بيكربونات المنغنيز تحتاج إلى أن تكون قيم الـ PH ، من أجل سرعة التأكسد أعلى بكثير منها في حالة بيكربونات الحديد ، لذلك وعلى الرغم من إمكانية إزالة المنغنيز من كافة أنواع المياه ، باستثناء الحمضية منها ، بأجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، أو بمرشحات المنغنيز ، دون أية حاجة لرفع الـ PH

، فإنه يمكن إزالته جزئياً فقط بالتهوية ، والترويق ، والترشيح إلا إذا رفعت أيضاً قيمة الـ PH

ملاحظة :

انظر الفصل 14 من أجل معلومات مفصلة حول إزالة الحديد والمنغنيز ، بما فيها معلومات حول تأثير قيم الـ PH على تأكسد بيكربونات الحديد وبيكربونات المنغنيز بواسطة الهواء أو الكلور ، ومرشحة المنغنيز زيوليت ، وتأثير (المرشحات المنضحة) في إزالة الحديد والمنغنيز العضويين (المستخلبين) .

طريقة تبادل كاتيونات الكلس والصوديوم الباردة ذات المرحلتين (طريقة الكلس زيوليت الباردة) :

في هذه الطريقة يتم إنقاص عسرة بيكربونات الكلسيوم ، أو العسرة الإجمالية بالكلس المطفأ ومادة مخثرة ، والترويق والترشيح في مرحلة أولى . وعند الضرورة يمكن استخدام إعادة الكربنة ، أو استخدام جرعة بسيطة من الحمض قبل الترشيح . وفي المرحلة الثانية ، يجري جزء من الصبيب المعالج بالكلس والمرشح عن طريق تمريره من خلال جهاز أو أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، ويمزج هذا الجزء مع جزء آخر من الصبيب المعالج بالكلس والمرشح ، ويعدل الصبيبان لإنتاج صبيب ممزوج بالثمالة المرغوبة .

إن تكاليف التشغيل لإزالة عسرة اللاكربونات بطريقة مبادل كاتيونات الصوديوم ،أقل من تكاليف التشغيل بطريقة الكلس صودا الباردة . وبالمقابل إن تكاليف التشغيل لإزالة عسرة البيكربونات (وخصوصاً عسرة بيكربونات الكلسيوم) بطريقة الكلس الباردة هي عادة أقل إلى حد ما من تكاليف إزالتها بطريقة مبادل كاتيونات الصوديوم . ولذلك تكون تكاليف التشغيل في طريقة الكلس البارد ومبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، مع المياه العالية المحتوى من عسرة البيكربونات واللاكربونات ، أقل عادة من كل من طريقة الكلس صودا الباردة أو طريقة مبادل كاتيونات الصوديوم . وهناك أيضاً نقص في إجمالي الجوامد مطابق للنقص في عسرة البيكربونات الناتج عن المعالجة بالكلس في المرحلة الأولى .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

ملاحظة :

إن تكاليف رأس المال لمنشأة التيسير بالكلس البارد ومبادل كاتيونات الصوديوم ، أعلى طبعاً منها في كل من منشأة مبادل كاتيونات الصوديوم أو منشأة الكلس صودا الباردة . وبما أن استهلاك الملح في مبادلات الكاتيونات الحديثة العالية القدرة أقل بكثير منه في النمط الأقدم للرمل الأخضر من مبادلات الكاتيونات ، فإن الوفر المتحقق عن طريق المعالجة بالكلس في المرحلة الأولى ليس كبيراً في هذه الأيام كما كان في السابق ولذلك لا تتميز تكاليف التشغيل في طريقة الخطوتين كثيراً عنها في طريقة مبادل كاتيونات الصوديوم وحدهما في تيسير المياه ذات المحتوى العالي من عسرة اللاكربونات ، وذلك في المواقع التي تكون فيها أسعار الملح منخفضة ، ما لم تكن عسرة بيكربونات الكلسيوم عالية جداً أيضاً .

التآكل و (المياه الحمراء) :

تنجم المياه الحمراء المعروفة عن تأثير المياه الأكاّلة التي تحتوي على هواء منحل , على المعادن الحاوية على الحديد بإحداث الحفر والدرنات وهيدروكسيد الحديد البني المحمر . والمياه الأكالة التي تكون فيها قيمة الـ PH منخفضة والتي تحتوي على هواء منحل قد تهاجم أيضاً الأنابيب النحاسية ، فتحدث بقعاً مخضرة على التثبيتات الخزفية لكن هذا الهجوم يكون بطيئاً عادة . أما بالنسبة للنحاس الأصفر ، قد يكون الهجوم سيئاً للغاية لأنه يحدث حفراً مرقطة وارتشاحاً عبر النحاس اللين المتشكل عن طريق نزع الزنك من النحاس

وفي التطبيق البلدي تستخدم على نطاق واسع طريقتان لتثبيط التآكل هما :

(1) إحداث طبقة واقية جداً من كربونات الكلسيوم .

(2) استخدام كمية بسيطة من سيليكات الصوديوم (0,1 ليبره لكل 1000 جالوناً ، مع إضافة قليل من الصود الكاوي لرفع قيمة الـ pH إلى حوالي 8,3 الذي يشكل طبقة واقية رقيقة جداً فوق السطوح المعدنية .

وقد استخدم أيضاً النزع الفراغي للهواء إلى مدى محدد في وقاية خطوط الأنابيب الطويلة ، ولكن من الواضح أنه سيكون هناك التقاط للهواء ، إذا استخدمت فيما بعد الخزانات أو الأحواض أو صهاريج التخزين المرتفعة المكشوفة .

ملاحظة :

انظر الفصل 3 حول الغازات المنحلة ، وانظر الجدول 1. 9 في الفصل 9 من أجل الطريقة البسيطة لحساب دليل لانفلييه (دليل إشباع كربونات الكلسيوم) .

التقاط الحديد :

عند استخدام مورد مائي ، خالٍ من الأكسجين المنحل في أنظمة التوزيع القديمة المتدرنة ، قد يحدث التقاط للحديد مزعج جداً ، أي تشكل وانحلال لمركبات الحديد (بيكربونات الحديد ، وكربونات الحديد ، وهيدروكسيد الحديد ، ولجميعها ذوبانيات ملحوظة) من الدرنات . ومن الواضح أنه عند تجري مياه ، تحتوي على هواء منحل ، عبر أنبوب متدرن فإن أي مركب حديد ذواب ، يرتشح عبر الدرنة ، سوف يتأكسد بسرعة إلى هيدروكسيد الحديد اللاذواب ، وذلك قبل انبثاقه من سطح الأنبوب . ولذلك فإن علاج التقاط الحديد ، يكون ببساطة في إدخال قليل من الهواء إلى الماء ، فيعمل هذا بسرعة مذهلة ، كما نتبين من الملاحظة التالية .

ملاحظة :

كمثال على ما سبق نذكر حالة بلدية تسبب فيها إدخال ماء بئر خال من الأكسجين إلى الأنابيب الرئيسية المتدرنة ، التي كانت تستخدم سابقاً لحمل المياه السطحية المشبعة بالهواء ، بالتقاط شديد جداً للحديد كان ماء الحنفيات في مختلف قطاعات البلدية عند سحبه نقياً عديم اللون ، لكنه كان عند تركيده بالتماس مع الجو ، يربدّ ثم يصفرّ ثم يرسب هيدروكسيد الحديد المألوف ذو اللون البنيّ المحمر . وقد أظهرت الاختبارات أن محتويات الحديد فيه تتراوح من 1 إلى أكثر من 4 ppm ولا حاجة بنا لأن نذكر التبقع السيء الذي كان يصيب التثبيتات الخزفية ، وكل شيء يكون على تماس مع هذا الماء . وعندئذٍ كان يتم جعل التهوية فعالة بإدخال الماء فوق سطح بئر نقية ، وشطف الأنابيب الرئيسية دفقاً بواسطة مآخذ إطفاء الحرائق . وكانت الاستجابة سريعة تقريباً ، فقد توقف في 24 ساعة التقاط الحديد خلال كامل النظام ، باستثناء أنبوب واحد طويل يؤدي إلى نقطة معزولة إلى حد ما ، لكنه عاد وتوقف في هذا الأنبوب أيضاً في 48ساعة .

المعالجة بمركبات الفلور :

تقوم العديد من البلديات في أنحاء عديدة من العالم بإضافة مركبات الفلور إلى مياه الشرب , والمواطنون في هذه البلديات يشربون مياهاً يبلغ محتواها من الفلوريد الطبيعي 0.7 ppm أو أكثر ، معبراً عنه بـ F (فلور) .

إن معظم الفوائد في تخفيف معالجة الأسنان يستمد من المياه التي تحتوي من 0.7-1 ppm معبراً عنها بـ F ، أما الكميات التي تتجاوز 1.5 ppm ، فتسبب تبقع الأسنان . وفي البلديات التي تطبق المعالجة بمركبات الفلور على المياه التي لا تحتوي على الفلوريد ، أو على تلك التي تشكو من نقص كمياته الطبيعية فيها ، تضاف كميات كافية من مركب يحتويه لجعل محتوى الماء منه عند 1 ppm .

واعتماداً على التكاليف والمشكلات النسبية للمعالجة والتغذية ، تستخدم مختلف المركبات الحاوية على الفلوريد ، مثل حمض هيدرو فلورسيليك ، سيليكو فلوريد الصوديوم ، وفلور الصوديوم ، الخ ، ومن الطبيعي أن تختلف التكاليف ، ليس فقط تبعاً للتكاليف النسبية لمركبات الفلوريد ، بل أيضاً تبعاً لنسبة جالون / شخص / يوم ، المستخدمة في مختلف البلديات . ولكن بما أن الكميات المضافة بسيطة جداً ، فإن إجمالي التكاليف السنوية للشخص الواحد تكون منخفضة جداً .

تخفيف المحتويات العالية من الفلوريد :

في الموارد المائية التي تحتوي على فلوريد طبيعي بنسبة أعلى منppm 1 . تشمل الطرق المتبعة لتخفيف محتويات الفلوريد ، استخدام هيدروكسيد المغنزيوم ، والألومينا المنشطة ، وكبريتات الألومنيوم ، وفحم العظام المنشط . فإذا كانت عسرة المغنزيوم عالية إلى حد ما في الماء ، وكان التخفيف المطلوب لمحتوى الفلوريدات بسيطاً نسبياً ، فقد تكون طريقة التيسير الباردة بالكلس صودا ذات أهمية في تخفيف هذا المحتوى ، ولكننا نحتاج إلى كميات كبيرة من المغنيسيا

لتخفيف محتويات الفلوريدات إذا كانت أعلى من ذلك وفي هذه الطريقة يجري تمرير الماء من خلال مرشحات فحم العظام ، وفي نهاية شوط التشغيل ، تجدد هذه المرشحات أولاً بمحلول الصود الكاوي 4% ، وثانياً بمحلول حمض الفسفور 1 % . وبسببب النفقات التي يقتضيها نزع مركبات الفلور من كميات المياه إذا كانت كبيرة ، وتحمل محتويات عالية من الفلوريد ، فقد استخدمت المرشحات من النمط الأنبوبي للأغراض المنزلية ، لكن استخدامها محدود جداً .

الفصل الثامن

مياه تغذية المراجل
Boiler Feed Waters

تُخلّف المياه الطبيعية جميعها ، عند تبخرها ، ثمالة من مادة معدنية . وربما تعرف الإنسان على هذه الحقيقة منذ تعلم غلي الماء لأول مرة . ولوحظ أيضاً أن بعضاً من هذه الثمالة كان عبارة عن قشرة صلدة كالصخر ، تلتصق إلى جدران الأوعية التي يغلي فيها الماء .

ملاحظة :

وقام الفلاسفة القدماء بوضع تفسير لهذه الظاهرة ، كدأبهم في وضع التفسيرات لكافة الظواهر الأخرى . فقد ذكروا أن المادة ، تتألف من أربعة عناصر ، هي : التراب ، والهواء ، والنار ، والماء . وعندما تتلامس النار والماء ، فإنهما يتحدان ، لا ليشكلا مياهاً نارية ، كما يمكن أن نفترض ، بل ليشكلاً تراباً (مادة معدنية) وهواء (بخاراً أو غازاً) . ولو كتبت المعادلات الكيميائية كما نكتبها في عصرنا ، لكتبت كما يلي :

نار + ماء ← تراب + هواء

وككثير من النظريات المضللة ، أما أن صيغت هذه النظرية وقبلت حتى تهافت عليها الناس ، كتهافت الحيوانات القشرية البحرية على لوح خشبي متعفن . وبعد ذلك بعدة قرون ، تجرأ أحد الشكوكيين على كشف أن الماء المقطر لا يخلف ، عند تبخره ، ثمالة ملحوظة . وجاءت الضربة النهائية لهذه النظرية ، عندما قام أحد العباقرة ، بتقطير مياه ، سبق تقطيره 500 مرة ، دون أن تشكل أي تراب في أي من تلك المرات .

رواسب المراجل : Boiler Deposits

كان تشكل القشرة في آنية الطبخ أمراً مزعجاً طبعاً ، ولكن عندما جعل محرك واط البخاري من المرجل البخاري ضرورة عامة ، أصبحت القشرة ليست مزعجة فقط ، بل نوعاً من التهديد أيضاً . لأن الموصلية الحرارية للقشرة ضعيفة جداً (تبلغ حوالي 0.5 % من موصلية الفولاذ ، وقد تهبط في بعض القشور المسامية إلى أقل بقليل من 1 % ، انظر الفصل 2) ، وتتشكل بصورة أسرع في الدرجات الأكبر للمدخول الحراري . ولذلك يكون التفاوت كبير في درجات الحرارة بين المعدن والماء في المراجل المكسوة بالقشور ، أكثر مما تحتاجه المراجل النظيفة ، التي تعمل بالتقدير نفسه .

إذا كانت القشرة في المراجل المصنوعة من الفولاذ الطري ، ثخينة بما يكفي لجعل درجة حرارة المعدن ترتفع إلى أكثر من 900˚ ف ، فإنه يمكن أن نتوقع ضعف المعدن . ويمكن للفولاذ من نوع خاص أن يصمد لدرجات حرارة أعلى ، ولكن لا يجب تجاوز درجة حرارة التشغيل الآمنة لأيٍّ من أنواع الفولاذ . وكما يظهر في الجدول 5 – 2 في الفصل الثاني ، فإن الزيادة في تفاوت درجة الحرارة ، التي تسببها ثخانة $^{1}/_{10}$ أنشاً ، مع موصلية حرارة مقدارها 0.75 بمقياس كلفن ، هي 111˚ ف فقط بمدخول حراري مقداره 10000 وحدة حرارية بريطانية / قدم^2 / ساعة , لكنها تصبح عشرة أضعاف (1110˚ ف) عندما يكون المدخول الحراري 100000 وحدة حرارة بريطانية قدم^2 / ساعة . ومن الواضح إذن ، أنه يمكن لمرجل الضغط المنخفض من النمط القديم ، بمعدل دخله الحراري المنخفض ، أن يصمد لقشرة أثخن بكثير من ثخانة القشرة التي يتحملها مرجل الضغط العالي من النمط الحديث ، بمعدلات دخله الحراري الأعلى بكثير .

لم تكن القشور بثخانة $^{1}/_{4}$ – $^{1}/_{2}$ إنشاً نادرة في المراجل القديمة ذات الضغط المنخفض ، في حين حدثت أعطال في المراجل الحديثة ذات الضغط العالي مع قشرة بثخانة 0.05 فقط ، وقد حسب بعضهم أنه حتى القشرة المسامية بثخانة 0.01 إنشاً ، قد تسبب ضعفاً في معدن المرجل في الأجزاء العالية التشعّع . ولذلك يبدو واضحاً أن عبارتي (ثخين) و(رقيق) ، عند استخدامهما لوصف قشرة المرجل ، تكونان عديمتي المعنى ، لأن القشرة التي تكون (رقيقة) بما يكفي لهذا المرجل ، قد تكون (ثخينة) جداً بالنسبة لمرجل أخر وكذلك أيضاً وعلى الرغم من أنه كثيراً ما يصار إلى المحافظة على قشرة رقيقة كالورق أو كقشرة البيض ، في مرجل الضغط المنخفض ، وقاية له ضد التآكل ، الذي يسببه ماء نزع منه هواؤه على نحو سيء ، فإن مرجل الضغط العالي لا يمكن أن يتحمل مثل تلك القشرة . وبدلاً من ذلك ، ينبغي أن يكون المعدن خالياً من القشرة ، و أن يحمى ضد التآكل عن طريق النزع الكامل للهواء من مياه التغذية ، والمحافظة على قيمة مرتفعة بشكل كافٍ لـ PH .

ضياع الحرارة الذي تسببه القشرة :

لقد بولغ كثيراً فيما يتعلق بضياعات الحرارة في المراجل المكسوة بالقشور ، ويعزى ذلك ، إلى حد كبير ، إلى بعض الاحتياجات القديمة والاستشهاد بها دائماً ، وفيها تسبب قشرة بثخانة $^{1}/_{16}$ إنشاً خسارة انتفاع من الحرارة بمقدار 12 % .

مع ذلك ، اكتشف في التطبيق العملي أن ضياعات الحرارة ، بسبب القشرة في حجرات المراجل ، بسيطة نسبياً . وقد قام بعضهم بحساب هذه الضياعات في الانتفاع الحراري ، ونقوم بدورنا بتلخيص استنتاجاته كما يلي : " إن دراسة ضياعات الحرارة بسبب القشرة ، تؤدي إلى استنتاج يفيد بأن هذه الضياعات بسيطة نسبياً ، لأن المعلومات المستمدة من البحوث الحديثة والكفوءه ، تساعد الاستنتاجات النظرية في وضع تلك الضياعات عند رقم لا يزيد عن 2 % للقشور بالثخانة والموصلية الحرارية العاديتين , وعلى الرغم من بساطة الخسارة الناجمة عن القشرة في فعالية المرجل ، إلا أن واقع وجود أي خسارة يبرر استخدام طرق تحول دون تشكل القشرة .

يتطلب التشغيل الحديث للمراجل حذف كافة الخسائر إلى أقصى درجة اقتصادية ممكنة . إن منع تشكل القشرة بتحكم كيماوي مناسب ، هو إجراء اقتصادي سليم ، حتى لو كان الهدف منه فعالية المرجل فقط . ولكن هناك ، من الناحية العملية ، عامل آخر يزداد أهمية ، نظراً للازدياد المستمر في ضغوط وسرعات التدوير في المرجل . وهذا العامل هو ضعف سطوح الأنابيب ، بسبب التسخين الزائد ، الناجم عن تشكل القشرة " .

القشرة مقابل العكارة :

تستخدم العبارتان " قشرة " أو " قشرة المراجل" للدلالة على الرواسب التي تلتصق بالمراجل ، أما عبارتا "عكارة" أو "طين" ، فتستخدمان للدلالة على الرواسب غير اللصوقة . ومن هنا يتضح ، أن القشرة أكثر إزعاجاً من العكارة ، لأن هذه يمكن

صرفها أو غسلها ، أما القشرة فتحتاج عادة إلى تحطيم أو إلى تكسير . وإزالة القشرة ، في بعض المواضع ، مسألة بالغة الصعوبة . ففي القاطرات مثلاً ، تتشكل القشرة فوق السطح الخارجي لمسارب الغازات أو أنابيب اللهب ، ولما كانت هذه الأنابيب شديدة التقارب ، فإنه يصعب إدخال أدوات التنظيف فيما بينها . ولذلك . فإن اكتساء هذه المسارب على نحو سيئ بالقشور ، يعني إدخال القاطرات إلى الورشة ، وفك المسارب ، لإجراء عملية للتخلص من القشرة ، وتلحيم القطعة فوق المسارب (أو استخدام قطع جديدة) ، وإعادتها من جديد إلى المرجل .

إن المكونات الرئيسية للقشور والعكارة ، هي : كربونات الكلسيوم ، وهيدروكسيد المغنيزيوم ، وكبريتات الكلسيوم ، والسيلكا . تبلغ ذوبانية كربونات الكلسيوم بدرجة 212 ف حوالي 13 ppm ($^3/_4$ غ / غالون) ، وهيدروكسيد المغنيزيوم 8 ppm ($^1/_2$ غ / غالون) ، وكبريتات الكلسيوم 1250 ppm (73 غ / جالون) ، ويعبّر عن الجميع كمكافئات لـ $CaCO_3$.

وتنقص إلى حد ما ذوبانية كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم مع ارتفاع درجات الحرارة ، ربما إلى حوالي 5 ppm ($^1/_3$ غ / جالون) بالنسبة للكربونات ، 2 ppm ($^1/_8$ غ / جالون) بالنسبة للهيدروكسيد ، وذلك بدرجة 392 ف (210 Psig) ويعبر عنهما بـ $CaCO_3$. وتنقص ذوبانية كبريتات الكلسيوم بسرعة أكبر مع ارتفاع درجات الحرارة وكما تبين في الجدول 4 – 2 في الفصل الثاني ، فإن هذه الذوبانية تهبط عند 338 ف (100 باوند / قدم^2) إلى 103 ppm (6 غ / جالون) ، وعند درجة الحرارة 428 ف (332 باوند / قدم^2) إلى 40 ppm (2.3 غ / جالون) . ولوحظ أيضاً أن القشرة التي تشكلها كبريتات الكلسيوم ، صلبة وكثيفة جداً بحيث تصعب إزالتها ، أما القشور التي تتشكل ، بصورة رئيسية ، من كربونات الكلسيوم ، فتكون ذات طبيعية أكثر ليونة ، ولذلك تصبح إزالتها أسهل .

ملاحظة :

إن الذوبانيات ، التي وردت أعلاه ، تخص المواد المصرفة في المياه النقية ، والغرض منها : هو فقط إعطاء العناصر الأساسية بتشكيل القشرة . أن وجود أملاح أخرى ، وخصوصاً تلك التي تحتوي على أيون

عادي ، تأثر بصورة طبيعية على هذه الذوبانيات . وفي درجات الحرارة المنخفضة تختلف أيضاً ذوبانية كبريتات الكلسيوم مع الجبس ، سواء كان شبه مميّأ أو غير مميّأ . علاوة على ذلك ، وعلى الرغم من كون كربونات الكلسيوم ، وهيدروكسيد المغنزيوم ، وكبريتات الكلسيوم ، والسيليكا ، هي المواد الرئيسية التي تشكل القشور في المراجل البخارية ، إلا أن الفحوص المجهرية وأنماط حيود أشعة إكس ، كشفت أن القشور قد تكون أكثر تعقيداً من مجرد كونها مزيجاً بسيطاً من هذه المواد مع بعض الألومينا والحديد ، كما يمكن أن يستنتج من التحليل الكيميائي للقشرة . كما ذكر مؤخراً ، تحت عنوان " قشور السيلكا" ، بأن هذه قد توجد أيضاً على شكل أنالسيت Analcite أو على شكل سيليكات الكلسيوم . ولكن هذا لا يوهن كافة الاتحادات المحتملة ، لأن السيلكا ، في حد ذاتها ، قد توجد في عدة أشكال ، أو في اتحاد ، على شكل سيلكيات ثنائية عديدة مع الألومينا أو الحديد أو مع مختلف الأسس . وعلى الرغم من أن هذه الدراسة تلقي ضوءاً جديداً على تشكل القشور ، وعلى مختلف المجموعات المؤتلفة ، التي قد توجد في مختلف القشور ، وتبقى المواد الرئيسة المشكلة للقشور هي نفسها ، والتخلص منها أو تخفيفها إلى تفاوتات محددة مسموحة ، سيبعد إمكانية تشكلها .

بالنسبة لمركبات الكلسيوم والمغنزيوم الأخرى التي توجد في المياه الطبيعية ، فكلاً منها ذواب , ولا يشكل قشوراّ ، ولكن كلور المغنيزيوم آكال خصوصاً ، وتأثيره يبدو حفازاً بطبيعته ، فهو يتحلل أولاً إلى هيدروكسيد مغنيزيوم وحمض كلور الماء ، وعندئذٍ يقوم حمض كلور الماء بمهاجمة معدن المراجل ، مشكلاً كلور الحديد ، ويتفاعل هذا عندئذٍ مع هيدروكسيد المغنيزيوم . وربما يلعب دوراً في هذا الهجوم ، الأوكسجين المنحل ، من الماء الغير منزوع الهواء ، أو المنزوع هواؤه بشكل جزئي فقط . وعلى أية حال ، إذا كانت المحاليل الملحية في المراجل ، تحمل بعضاً من قلوية الصوديوم ، أو كلور أو كبريتات المغنيزيوم ، فأنها ستتفاعل معه لترسيب مغنيزيوم على شكل هيدروكسيد ، بحيث لا يمكن لهذا النمط من الهجوم أن يحدث .

ومُشّكل القشرة الشاذ تقريباً ، وهو هيدروكسيد الكلسيوم ، الذي من الواضح انه لا يوجد في المياه الطبيعية ، ويمكنه الدخول إلى المرجل فقط من خلال معالجة غير مناسبة . ولهيدروكسيد الكلسيوم منحنى ذوبانية ، ينقص بارتفاع درجة الحرارة، ويصل إلى حوالي 2390 ppm (139غ / جالون) بدرجة °32ف ، و 888 ppm (25 غ / جالون) بدرجة 212ف ، و 135 ppm(8غ / جالون) بدرجة 392 ف (210 psig), ويعبر عن الجميع بـ $CaCO_3$.

لم تكن السيليكا عادة ، إلا في حالات استثنائية ، مكوناً مزعجاً للقشور في المراجل القديمة ذات الضغط المنخفض . وهي في الواقع ، قلما جرى قياسها منفصلة في مياه تغذية المراجل ، لكنها كانت عادة تتكتل مع مكونات أصغر ، وأكسيد الحديد والألومينا ، وكان يعبر عن المجموع عادة بـ SiO_2+ R_2O_3 . ويمكن أيضاً منع السيلكا من تشكيل القشرة في المراجل ، عن طريق تأمين مياه تغذية خالية من العسرة وزيادة فوسفات الصوديوم في المحاليل الملحية للمراجل ، ووجود قلوية كافية لإبقاء السيلكا في حالة انحلال ولكن السيلكا يمكنها أن تشكل مع العسرة في المرجل ، سيليكات الكلسيوم ، وكما ذكرنا في الملاحظة السابقة ، فان النمطين الآخرين من قشور السيلكا ، التي يمكن أن تتشكل ، هي قشور السيليكات ، مع الألومينا أو الحديد أو أساس ، وإجمالاً ، تدعى هذه القشور عادة (قشور السيليكا) لأن السيليكا هي السبب الرئيسي في تشكلها . والسيلكا أيضاً ذوابة (أو طيارة) في البخار ذي الضغط العالي ، وبالتالي يمكن أن ترحل ، وتترسب على شكل قشرة صلدة ثقيلة فوق أرياش التربين . وكما سنرى ، فيما بعد ، في الصورة 4–8 ، فإنه كلما كان ضغط البخار أعلى ، كلما كان محتوى السيلكا ، الذي يمكن التسامح به في مياه المراجل ، أكثر انخفاضاً .

إذا سمح للعكارة والراسب بالدخول إلى المرجل ، فقد تتشكل العكارة والقشرة، فتتشكل القشرة عن طريق التماسك أو الجفاف فوق المعدن ، أو عن طريق تفاعل محتويات السيلكا فيها مع المحاليل القلوية في المرجل . ولذلك تجري عادة معالجة المياه العكرة قبل تيسيرها أو نزع معادنها . مع مياه معينة ، قد تتألف هذه المعالجة المسبقة من التخثير ، والترويق ، والترشيح ، أو قد تتألف عندما تحتوي المياه على كميات ملحوظة من عسرة البيكربونات ، كما في حالات كثيرة ، من التيسير بالكلس البارد ، والتخثير والترشيح ، ويمكن بالمعدات نفسها إزالة العكارة ، وتخفيف عسرة البيكربونات في آن معاً .

سوف ندرس في النص التالي المعالجات الخارجية أولاً ، ولتفادي التكرار ، يفترض في الماء ، الذي نحن بصدد معالجته ، أن يكون خالياً من العكارة في حالته الطبيعية ، أو أن يكون جُعل كذلك بمعالجة مسبقة . علاوة على ذلك ، وبما أن طرق تهيئة الماء هذه ستوصف بالتفصيل في مكان آخر ، فإن وصفها في هذا الفصل سيأتي موجزاً ، وسوف نشير إلى الفصول التي سترد فيها الأوصاف .

المعالجة الخارجية للماء الإضافي المعوّض لمياه تغذية المراجل :

تستخدم عبارة (الماء الإضافي المعوّض لمياه تغذية المراجل) للدلالة على المياه الخام التي نحتاجها لسد النقص الناجم عن خسائر الماء من المراجل ، الذي يسببه استخدام البخار مكشوفاً في العمليات الصناعية ، أو البخار المفقود بطرق أخرى ، إضافة إلى الماء الذي يفقد في أنبوب التصريف في المرجل . وفي بعض الحالات ، لا توجد مرتجعات لناتج التكثيف ، أو أن لا يناسب إطلاقاً لإعادة استخدامه في المرجل ، وبالتالي تكون مياه تغذية المرجل مياهاً إضافية للتعويض 100% . وفي حالات أخرى وخصوصاً في المنشآت ذات القدرة الكبيرة ، فإن المكثفات السطحية تستعيد كثيراً من الماء المتبخر ، إلى الحد الذي قد تشكل معه مياه التعويض أقل من 2 % من الماء الذي تغذى به المراجل .

وبين هذين الحدين ، تقع جميع الحالات الأخرى وفي المصنع نفسه أيضاً ، قد تتغير إلى حد كبير ، نسبة ما قد نحتاجه من ماء التعويض . وقد تكون هذه التغيرات في معظمها فصلية ، ولكن احتياجات الإعاضة ، تختلف جداً من ساعة إلى ساعة ، أو حتى فترات أقصر . فمثلاً في منشأة تستخدم البخار المباشر للإمداد بالطاقة وللطبخ ، قلما تشغل أجهزة الطبخ على فترات متباعدة ومتداخلة على نحو متساوٍ . ففي لحظة قد لا يستخدم البخار أي من أجهزة الطبخ ، وفي اللحظة التالية ، قد تنفتح عليه عملياً ، وفي وقت واحد جميع هذه الأجهزة ، أو بفاصل بضع دقائق بين الواحدة الآخر . ومن الواضح إذن ، أن معدات معالجة المياه ، يجب أن تكون كبيرة بما يكفي لمعالجة المتطلبات القصوى .

يفضل تحديد التبخر من مرجل ما بعدد الباوندات في الساعة . وعند الحصول على هذا العدد ، فإنه يمكن تحويله إلى جالونات في الساعة (جالون / سا) ، بضربه في 0,12 . هناك طريقة أخرى للتعبير عن التبخير ، تقوم على أساس وحدة موروثة عن جيل سابق ، وتدعى (بالقدرة الحصانية للمرجل في الساعة) ويفترض أنها تساوي تبخر 4 جالونات من الماء في الساعة ، عند تقدير (القدرة الحصانية) بـ 100 % فإذا كان هذا التقدير 200 % ، فإن التبخير سيكون 8 جالون / سا ، الخ ، فمثلاً ، أن مرجلاً بقدرة 250 جالون / سا ، يعمل بتقدير 300 % ، سوف يبخر 3000 جالوناً من الماء في الساعة .

إن إضافة التكميل تقارب إجمالي رقم التبخير ناقصاً عائدات ناتج التكثيف . وهي كمية تقريبية فقط للتعديل ، يجب إعدادها بدلاً من الماء الذي يفقد عن طريق تيار البخار . وفي مختلف طرق تيسير الماء ، باستثناء طريقة الكلس صودا الساخنة، يمكننا الافتراض بأن البخار المفتوح ، الذي يستخدم لتسخين الصبيب ، يلغي تقريباً كمية الماء المفقودة قي تيار البخار ، وفي طريقة الكلس صودا الساخنة ، تحسب القدرة على أساس الصبيب الحار ، تبلغ في درجة الحرارة تلك 8 ليبرة في الجالون الواحد ، وتعوض من مياه المعالجة مضافاً إليها البخار المستخدم في تسخينه ، بحيث ينبغي إضافة تعديل لتيار البخار . وسوف ندرس معالجة عائدات ناتج التكثيف في مكان آخر من هذا الفصل .

طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) :

تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع ، في تيسير مياه تغذية المراجل ، وخصوصاً تلك التي تعمل ضغط منخفض , وتتميز هذه الطريقة بصورة رئيسية ، بإزالة العسرة بشكل كامل وبالبساطة الزائدة في العمل ، سواء كان التشغيل يدوياً ، أو آلياً بالكامل . كما أنها لا تنقص محتوى القلوية ، أو إجمالي محتوى الجوامد في الماء .

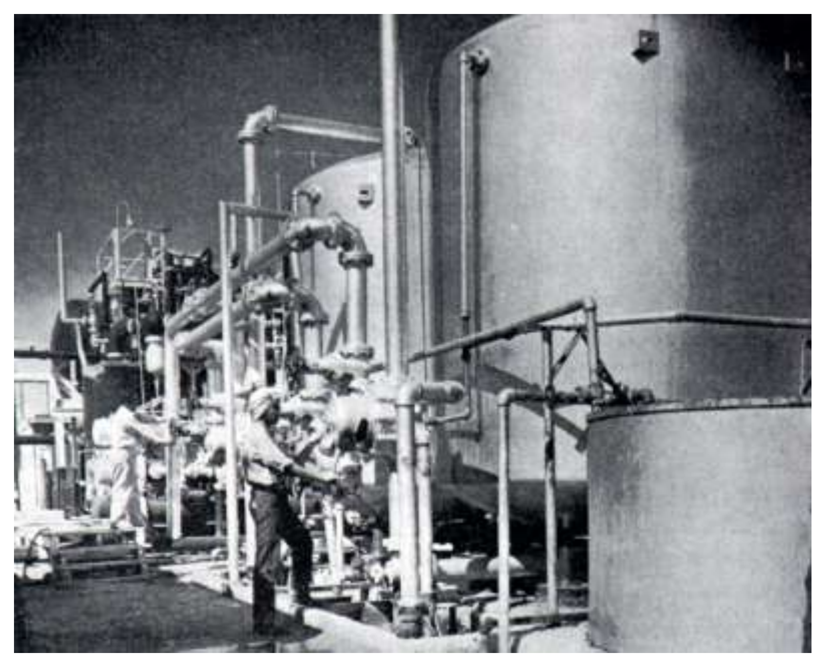
ونظراً للاستخدام الواسع ، الذي تلاقيه أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم لتيسير مياه المعالجة في مجموعة من مختلف الصناعات فقد أصبح شائعاً بناء منشآه مركزية من هذا النمط ، واستخدام صبيبها في عملية المعالجة ، ولتغذية المراجل ، ولكافة الاستخدامات الأخرى في المصنع .

قد يكون مبادل الكاتيونات المستخدم واحداً من الأنماط السيليكونية ، مثل الغلوكونيت Glauconite المعالج والمستقر (الرمل الأخضر) ، أو زيوليت ألومينو. سيليكات الصوديوم التركيبي ، أو من النمط الكربوني ، أو من نمط الراتنج التركيبي . يتميز النمط الكربوني ، والنمط الراتينجي التركيبي ، في كونهما ليسا سليكونيين في طبيعتهما ، وبذلك يتفاديان احتمال التقاط السيلكا من الماء الذي يعبر سرير المبادل . وفيما يتعلق بمحتوى السيلكا الأصلي في الماء ، فإنه يعبر السرير دون أي تبدل لأن مبادلات الكاتيونات لا تحمل خواص إزالة السيلكا وإذا احتجنا لإزالتها ، فإنه يمكننا القيام بذلك بطريقة الكلس الباردة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، أو بالطريقة الساخنة للجير وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

وسوف نأتي على وصف هاتين الطريقتين ، وإزالة السيليكا بواسطتهما في الفصلين 18 , 19 ، على التوالي . وكلتاهما تخففان أيضاً من محتوى القلوية ، وإجمالي الجوامد .

وهناك طرق أخرى ثلاث لتخفيف محتوى القلوية :

1 . المعادلة الجزئية لصبيب جهاز التيسير بحمض الكبريت .



الصورة 1 . 8 . مجموعة وحدية مزدوجة من وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم ، ذات صمامات متعددة الفوهات ، وتعمل يدوياً ، تيسير الماء المعوّض للمراجل في مصفاة للنفط في العربية السعودية .

2 . طريق تبادل كاتيونات الصوديوم وتبادل أنيونات الكلوريد ذات المرحلتين

3 . طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين وتبادل كاتيونات الصوديوم .

ولكن أياً من هذه الطرق لا تزيل محتوى السيليكا ، والطريقة (3) تخفف فقط إجمالي محتوى الجوامد .

وسوف نأتي على وصف طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم في الفصل 15 ، وطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين في الفصل 16 . كما نصف في الفصل 15 ، طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وتبادل أنيونات الكلوريد ذات المرحلتين .

طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين :

تتميز هذه الطريقة بصورة رئيسية في أنها تزيل العسرة بصورة تامة ، وتخفف محتوى القلوية إلى أي رقم نريده ، وتخفف محتوى الجوامد بقدر يماثل تخفيف محتوى القلوية ، كما تتميز بسهولة التنفيذ ، والتشغيل بواسطة الماء البارد . وفيما يتعلق

بمعالجة مياه التغذية ذات المحتوى العالي من السيلكا من أجل المراجل العالية الضغط فتتميز هذه الطريقة في أنها لا تخفف محتوى السيلكا في تلك المياه . وعند إجراء هذه العملية ، يمكن استخدام سلسلة المعدات التالية ، إذا كان محتوى الكبريتات والكلوريد منخفضاً جداً :

(1) وحدة أو وحدات تبادل كاتيونات الهيدروجين .
(2) جهاز لنزع الغاز .
(3) جهاز للتغذية بالصودا الكاوية .

وإذا كان محتوى الكبريتات والكلوريد أعلى إلى حد ما ، فإن سلسلة المعدات قد تتألف من : آ . وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين .
ب . وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم .
ج . جهاز لنزع الغاز .

تعدل الصودا الكاوية ، في الترتيب الأول بحيث تتعادل مع الأحماض المعدنية المنتجة من قبل مبادل الهيدروجين وتؤمن أي زيادة في القلوية تدعو الحاجة إليها وفي الحالة الثانية ، يعدل الدفق من (1) و (2) ، بحيث يعمل محتوى بيكربونات الصوديوم في دفق (2) على معادلة الحموضة المعدنية لدفق (1) وتأمين أية زيادة قلوية مطلوبة . وفي عملية نزع المعادن بتبادل الأيونات تستخدم مبادلات كاتيونات الهيدروجين لإزالة الكاتيونات ، ومبادلات الأنيونات لإزالة الأنيونات .

وسوف نأتي على وصف طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات في الفصل 17 .

طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات :

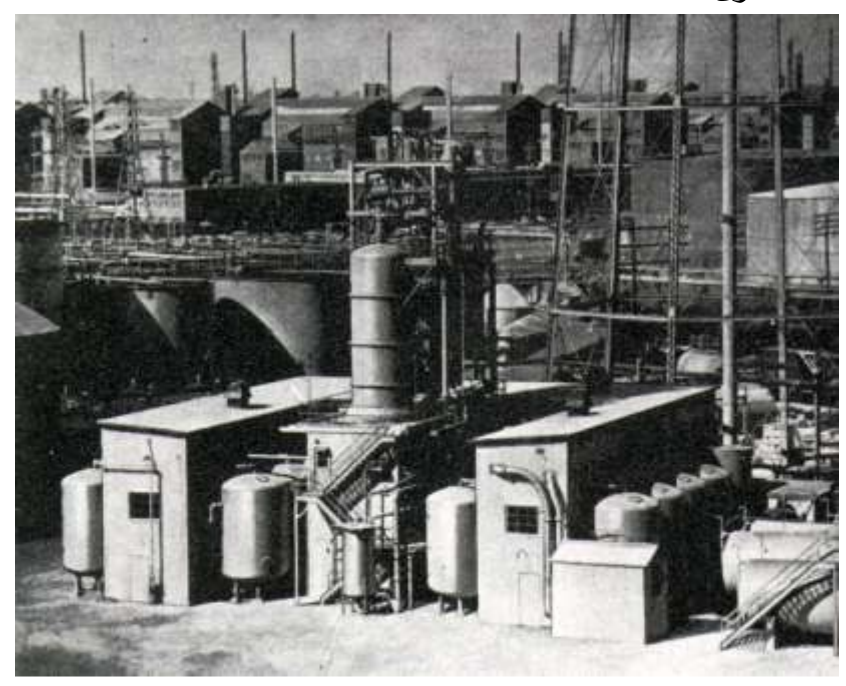
تستخدم طرق نزع المعادن وإزالة السيليكا بتبادل الأيونات على نطاق واسع لنزع المعادن من مياه التغذية للمراجل ذات الضغط العالي . ويمكن استخدام مختلف الترتيبات اعتماداً على : (1) تركيب الماء المعالج .
(2) الدرجة المطلوبة لنزع المعدن والسيليكا .
(3) تكاليف التشغيل ورأس المال .

وبدراسة نظام نزع المعادن وإزالة السيلكا ذي المرحلتين أولاً ، فإنه ينبغي تنفيذ المرحلة الأولى بتمرير الماء من خلال سرير مبادل كاتيونات الهيدروجين ، والثانية بتمرير صبيب المرحلة الأولى من خلال سرير مبادل أنيونات قاعدية عليا . ففي المرحلة الأولى ، يجري تبادل كاتيونات الهيدروجين بكاتيونات الكلسيوم ، والمغنيزيوم ، والصوديوم ، الخ ، والتي التقطت من قبل مبادل الكاتيونات . الأمر الذي يؤدي إلى تشكيل أحماض معدنية مؤينة بشدة كحمض الكبريت أو الهيدروكلوريك أو النتريك ، وأحماض قليلة التأين كحمض الكربون والسليسيك .

وفي المرحلة الثانية ، يقوم مبادل الأنيونات القاعدية المركزة بالتقاط الأحماض الشديدة والضعيفة التأين ، ويعطي بدلاً منها كمية مكافئة من أيونات الهيدروكسيل التي تتوحد مع أيونات الهيدروجين لتشكيل الماء . وفي نهاية شوط التشغيل ، يتوجب غسل مبادل الكاتيونات رجوعياً ، وتجديده بأحد الأحماض الذي هو عادة حمض الكبريت ، ثم يشطف ، ويعاد إلى العمل . كما يتوجب غسل مبادل الأنيونات رجوعياً أيضاً ، وتجديده بالصود الكاوي ، وشطفه ، وإعادته إلى العمل .

ولهذا الغرض يمكن أن تتألف المعدات المستخدمة من وحدة (أو مجموعة وحدات) لمبادل الأنيونات القاعدية المركزة ، مع صهاريج التجديد الخاصة بها . وكثيراً ما تستخدم هذه الأجهزة مع مياه ذات محتويات قلوية منخفضة ، أو في الحالات التي يكون فيها حجم المياه المعالجة قليلة نسبياً . ولكن ، مع المياه التي تحتوي على قدر محسوس من قلوية البيكربونات ، فإن استخدام نازع للغاز ، أو مفرغ خوائي للهواء بين المرحلتين ، لإزالة ثاني أكسيد الكربون (المتشكل من تحلل حمض الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون وماء) ، اقتصادي أكثر من إزالته بواسطة المرحلة الثانية . ومن الواضح أن الثمالات القليلة من ثاني أكسيد الكربون ، و التي تبقى في الصبيب بعد استخدام نازع الغاز أو المفرغ الخوائي للهواء ، تزال في المرحلة الثانية ، بالإضافة إلى حمض السليسيك والأحماض المؤينة بشدة . توضح بصورة 2–8 مصنعاً كبيراً من هذا النمط لنزع المعدن على مرحلتين ، تستخدم فيه أجهزة خوائية لنزع الهواء ، بين

مجموعة وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين ومجموعة وحدات مبادل الأنيونات القاعدية المركزة . وللاطلاع على أوصاف الأجهزة القاعدية التسعة لمعدات نزع المعادن بتبادل الأيونات ، انظر الفصل 17 . لا يمكن استخدام النمط آ من تلك المعدات لنزع المعادن من مياه تغذية المراجل ذات الضغط العالي ، لأنها لا تزال السيليكا ، لكنها تستخدم ، على نطاق واسع ، لنزع المعادن من المياه المخصصة لاستخدامات أخرى .



الصورة 2 . 8 . منشأة لإزالة السيليكا ونزع المعادن . قدرة المصنع 5.000.000 جالون/ يوم من ماء التعويض 100% لمراجل ذات ضغط 1500 باوند / إنش^2 .

طريقة الكلس – صودا الباردة :

تتميز هذه الطريقة ، بصورة رئيسية ، في أنها تخفف العسرة إلى كمية منخفضة نسبياً من 85 ppm (5 غ / جالون) إلى حوالي 17 ppm (1غ/ جالون) ، وذلك اعتماداً على زيادة المواد الكيميائية المستخدمة ، وتخفف إجمالي الجوامد والقلوية إلى كمية تكافئ تقريباً كمية عسرة الكربونات المزالة ، وترفع قيمة الـ PH ، وتخفف

السيليكا عند استخدام المغنسيا والكلس الدولوميتي (إنما ليس بمثل فعالية الطريقة الساخنة) ، ويتم إجراؤها بالماء البارد . والميزة الأخيرة مهمة ، بقدر ما يتعلق الأمر بمياه تغذية المراجل ، فقط من أجل الاستخدام في القاطرات البخارية، حيث تستخدم خزانات لتخزين الماء اليسر ، وحيث يتوجب ملء مقطورات الماء ، بالماء بسرعة وبدرجة حرارة عادية . ولكن طريقة الكلس صودا الباردة ، تستخدم على نطاق واسع في تيسير الموارد البلدية من الماء . إن هذه الطريقة التي تهمل عادة رماد الصودا ، وتستخدم الكلس البارد ومادة مخثرة فقط ، تستخدم أيضاً على نطاق واسع لـ :

(1) تخفيف عسرة البيكربونات ،

(2) تخفيف عسرة البيكربونات وإزالة العكارة .

(3) تخفيف عسرة البيكربونات وإزالة المنغنيز والحديد .

ولذلك فإنها تستخدم لتهيئة مياه التبريد ، وبعض المياه المعالجة ، وفي بعض الحالات ، كمعالجة مسبقة فيما يتعلق بطرق نزع المعادن بتبادل الأيونات . كما تستخدم كمرحلة أولى في طريقة الكلس الباردة ومبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، كما سنرى في المادة التالية . للاطلاع على وصف لهذه الطرق ، انظر الفصل 18 .

طريقة الكلس البارد مع تبادل كاتيونات الصوديوم :

الميزات الرئيسية لهذه الطريقة ، هي أنها تيسر الماء بشكل كامل ، وتخفف القلوية بنفس القدر الذي تخفف فيه عسرة البيكربونات ، وتخفف إجمالي محتوى الجوامد ، وتكاليف تشغيلها قليلة (المعالجة بالكلس هي عادة اقتصادية أكثر لإزالة عسرة البيكربونات والمعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم لإزالة عسرة اللاكربونات) ويمكن استخدامها لإزالة السليكا ، كما أنها تعمل بالماء البارد . ولكن عيبها الرئيسي ، هو كلفة رأس المال ، فهي أعلى طبعاً مما هي عليه في منشأة الكلس صودا الباردة ، أو منشأة مبادل كاتيونات الصوديوم . ولما كانت المعالجة بالمغنسيا هي أول طريقة لإزالة السيليكا من مياه تغذية المراجل ، فإنها تستخدم على نطاق ضيق في تيسير وإزالة السيليكا من المياه المستخدمة في حجرات المراجل الكبيرة جداً . وتستخدم أيضاً

لتيسير ومعالجة المياه ، والموارد المائية البلدية . وفيما يتعلق بإزالة السيليكا باستخدام المغنسيا ، فإن هذه العملية تنجز بفعالية أكبر بطريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين . وسنأتي على وصف طريقة الكلس الباردة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين في الفصل 18 ، وفي الفصل 19 سوف نصف طريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم .

طريقة الكلس باريوم الباردة :

تستخدم هذه الطريقة على نطاق محدود جداً ، وإجمالي عدد منشآتها الموجودة قليل جداً أيضاً . وتتميز ببعض الأهمية بالنسبة لقليل من المياه في تغذية المراجل ، والتي تحتوي على كميات عالية نسبياً من كبريتات الكلسيوم و/ أو كبريتات المغنيزيوم ، لأنها تُحدث ، في حالات كهذه ، نقصاً ملحوظاً في إجمالي محتوى المواد الصلبة المنحلة . ففي مياه كهذه ، يتفاعل هذا المحتوى مع كبريتات الكلسيوم لتشكل كبريتات الباريوم وكربونات الكلسيوم ، ومع كبريتات المغنيزيوم والكلس لتشكيل كبريتات الباريوم وهيدروكسيد المغنزيوم وكربونات الكلسيوم . وهي ليست ذات أهمية بالنسبة لكبريتات الصوديوم ، لأنها تخلف كمية مكافئة من كربونات الصوديوم في الصبيب . وسنأتي على وصف هذه الطريقة في الفصل 18.

طرق الكلس صودا الساخنة :

كثيراً ما يستخدم تعبير "طرق الكلس صودا الساخنة" لتغطية طرق ثلاث هي :

1 . طريقة الكلس صودا الساخنة .

2 . طريقة الكلس صودا الساخنة والفوسفات ذات المرحلتين .

3 . طريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

وهي طرق تستخدم ، على نطاق واسع ، لتيسير وإزالة السيليكا من مياه تغذية المراجل ، التي لا تحتاج إلى نزع المعادن من مياه تغذيتها . تزال السيليكا على أفضل وجه في نمط الدثار العكر (تلامس الجوامد المعلقة) لجهاز تيسير المعالجة الساخنة

. وإذا كانت المياه الخام عكرة ، فإنه من الأفضل تنقيتها ، قبل استخدامها ، في أي من هذه الطرق الساخنة .

1 ً. طريقة الكلس صودا الساخنة :

يستخدم في هذه الطريقة الكلس المطفأ ورماد الصودا ، للتفاعل مع عسرة البيكربونات وعسرة اللاكربونات لترسيب عسرة الكلسيوم (زائداً الكلس المضاف) على شكل كربونات كلسيوم ، وعسرة المغنيزيوم على شكل هيدروكسيد مغنيزيوم . فإذا كان محتوى الماء الخام من المغنيزيوم لا يكفي لإحداث النقص المطلوب في محتوى السيليكا ، فإنه يمكن استخدام الكلس الدولوميتي والمغنسيا المنشطة لتعويض نقص المغنسيا . بما أن الماء يسخن إلى درجة الغليان تقريباً ، قبل إضافة المواد الكيميائية ، فإن ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون النصفي الارتباط ، يزالان في جهاز التسخين الأصلي ، ويتراجع عادة محتوى الأكسجين المنحل إلى أقل من 0.3 مل / ل . ويمكن استخدام جهاز متكامل أو مستقل لخفض الأكسجين المنحل إلى أقل من 0.005 مل / ل . ويمكن أيضاً نزع الهواء من عائدات ناتج التكثيف بمعدات متكاملة لنزع الهواء .

وبعدئذٍ يرشح الصبيب من خلال مرشحات أنثراسيت من النمط الضغطي ، قبل استخدامه . ويمكن تخفيف محتوى العسرة مع الجرعات العادية من المواد الكيميائية المستخدمة إلى 20 ppm (1.2 غ / جالون) ، وإجمالي محتوى الجوامد بكمية تعادل تقريباً كمية عسرة البيكربونات المزالة . عند استخدام هذه العملية ، تترسب عادة ثمالية في المراجل عن طريق استخدام فوسفات الصوديوم . وسوف نأتي على وصف هذه الطريقة في الفصل 19 .

2 ً. طريقة الكلس صودا الساخنة والفوسفات ذات المرحلتين :

تنفذ المرحلة الأولى في هذه الطريقة كما في طريقة الكلس صودا الساخنة ، لكن لا يجري ترشيح الصبيب المستقر من هذه قبل عبوره إلى المرحلة الثانية . ويمكن إجراء المرحلة الثانية في حجيرة مكملة في جهاز تيسير الكلس صودا الساخن ، أو في

صهريج ترسيب منفصل . وفي كلا الحالين ، يعالج الصبيب المستقر من المرحلة الأولى بفوسفات ، كفوسفات الصوديوم ثنائية القاعدة ، وفي هذه المرحلة ، يرسب الصبيب ويرشح من خلال مرشحات الأنثراسيت من النمط الضغطي ، قبل استخدامه .

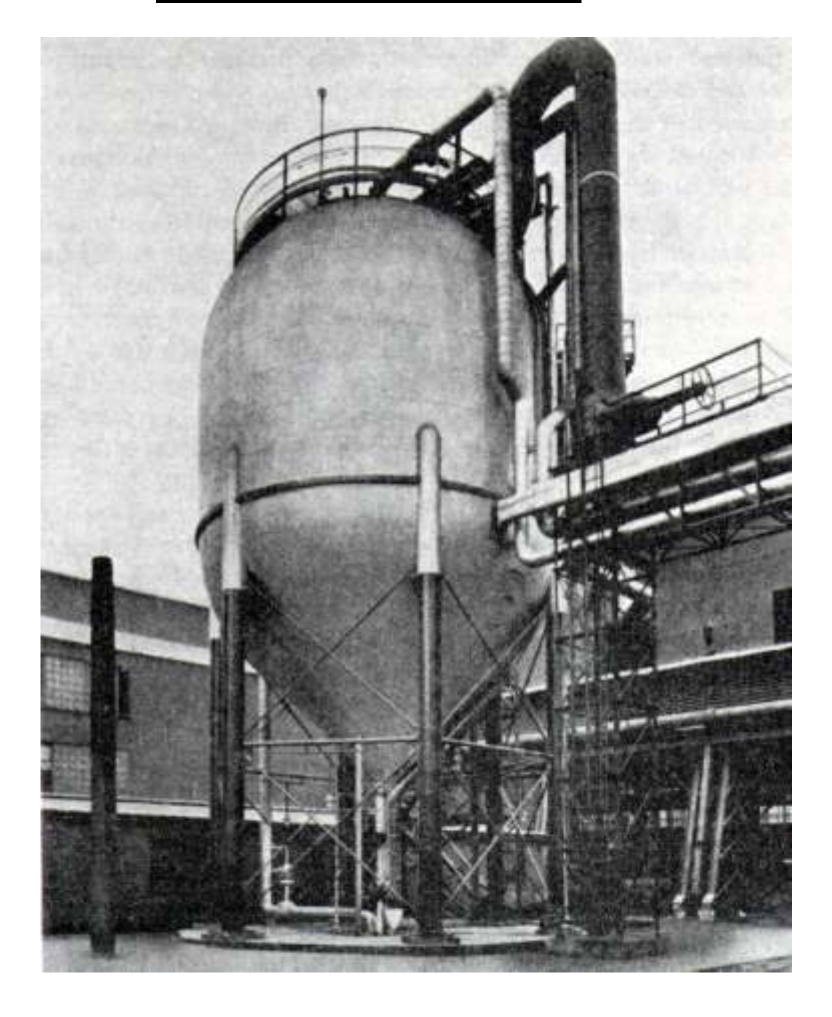
تترسب العسرة الثمالية في الصبيب المرحلة الأولى ، بصورة كاملة في المرحلة الثانية ، بحيث يكون صبيب المرحلة الثانية عملياً بعسرة صفر (1 - 2 ppm) وسوف نصف هذه الطريقة في الفصل 19 .

3 . طريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين :

تنفذ المرحلة الأولى من هذه الطريقة كطريقة الكلس صودا الساخنة ، مع عدم استخدام رماد الصودا ، ويرشح الصبيب المستقر من هذه المرحلة من خلال مرشحات الأنتراسيت من النمط الضغطي ، قبل دخوله إلى أجهزة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم ، التي تستخدم في المرحلة الثانية . وعند عبور الصبيب من خلال أجهزة التيسير المذكورة ، يزال تماماً محتويا عسرة اللاكربونات الثمالية من الصبيب المرشح في المرحلة الأولى ، بحيث يكون صبيب المرحلة الثانية عملياً بعسرة " صفر " (1 - 2 ppm) . وبما إزالة عسرة اللاكربونات بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم أقل كلفة من إزالتها باستخدام رماد الصودا في طريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ، اقتصادية أكثر بكثير . وسنصف هذه الطريقة في الفصل 19 .

التقطير Distillation :

يتميز التقطير في أنه يزيل ، بصورة تامة ، ليس العسرة فقط ، بل أيضاً كافة المواد المعدنية الموجودة في الماء الخام . وتتمثل مثالبه في الكلفة الأولية ، وكلفة التشغيل العاليتين ، بحيث يقتصر استخدام طريقة التقطير على وحدات توليد الطاقة بالضغط العالي حيث تشكل عائدات ناتج التكثيف أكثر من 95 % من تغذية المراجل



الصورة 3 . 8 . جهاز تيسير الماء بطريقة الكلس صودا الساخنة فوسفات الصوديوم ذات المرحلتين مع حجيرات إضافية للفوسفات وجهاز نزع الهواء في معمل للفولاذ (لا تظهر المرشحات هنا) . قدرة تيسير الماء وإزالة السيليكا ونزع الهواء 100.000 جالون / يوم .

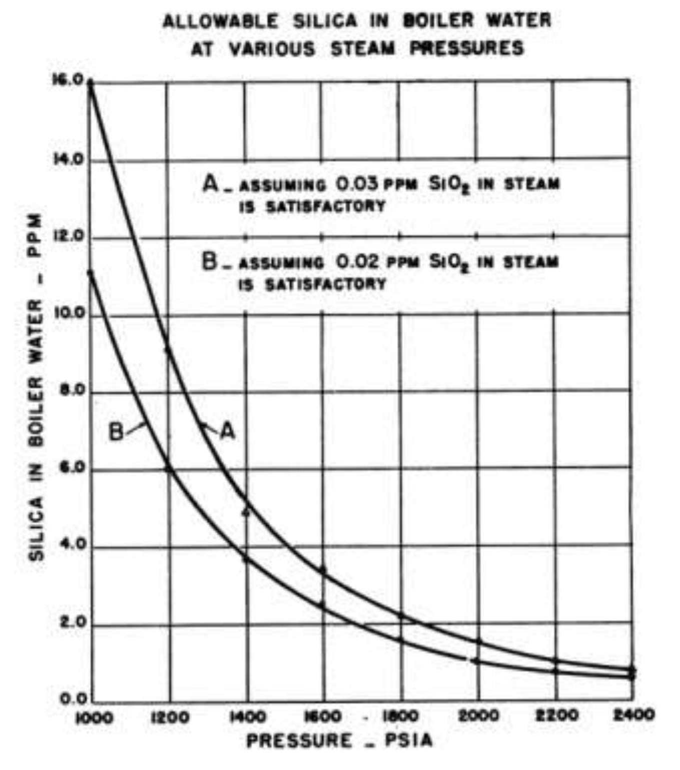
في هذه الوحدات ، تعمل أجهزة التقطير وأجهزة التبخير ، كما يسمونها عادة ، بالبخار العالي الضغط ، الذي يخفف عادة تكاليف التشغيل . ويستخدم أيضاً الماء المقطر ، إلى مدى محدود جداً ، في بعض المعالجات الصناعية ، ولكن في هذه الحالات ، تكون تكاليف التشغيل أعلى بكثير ، اعتماداً على المعدات المستخدمة . وسنأتي على وصف التقطير في الفصل 17 .

إزالة السيليكا Silica Removal

إن أولى طرق إزالة السيليكا : كانت المعالجة بهيدروكسيد الحديد ، وفيها تضاف كبريتات الحديد إلى الماء ، ويعمل هيدروكسيد الحديد ، الذي ينتج عن طريق التفاعل مع القلوية (طبيعية أو مضافة) على تخفيف محتوى السيليكا . نحتاج إلى جرعات كبيرة تقريباً من كبريتات الحديد (20 ppm - 8 لكل 1 ppm من السيليكا المزالة) ، وزيادة محتوى الكبريتات في الماء ، الذي يعني أيضاً ، في طريقة الكلس صودا الباردة أو الساخنة ، زيادة في إجمالي محتوى الجوامد في المياه المعالجة . ولذلك قلما تستخدم هذه الطريقة لإزالة السيليكا في هذه الأيام . وسوف نصف طريقة المعالجة بهيدروكسيد الحديد في الفصل 13 .

والطريقة الثانية لإزالة السيليكا : استخدمت أولاً في طرق الكلس صودا الباردة . فعندما لم تكن كمية هيدروكسيد المغنيزيوم المترسب من عسرة المغنيزيوم في الماء المعالج كافية لإنقاص السيليكا بالدرجة المطلوبة فقد كانت تضاف كمية من المغنسيا عن طريق استخدام الكلس الدولوميتي و/ أو المغنيسا المنشطة . ولكن من الضروري في عمليات الترسيب الباردة استخدام معدات حلّ المغنسيا التي فيها تعود العكارة إلى الدوران في الماء قبل دخولها نمط دثار العكارة (تلامس الجوامد المعلقة) من معدات المعالجة بالطرق الباردة . إن عدداً من المنشآت الكبيرة للجير صودا ومبادل كاتيونات الصوديوم ، تستخدم هذه الطريقة لإزالة السيليكا في المرحلة الأولى من الطريقة ذات المرحلتين .

ولكن بما أن المغنسيا تزيل السيليكا ، بصورة أكثر فعالية ، في الطرق الساخنة لتيسير الماء ، والتي لا نحتاج فيها أيضاً إلى معدات حلّ ، فإن هذه الطريقة قلما تستخدم حالياً في المنشآت الجديدة . وسنأتي على وصف المعالجة بالمغنيسيا لإزالة السليكا في طريقة الكلس صودا ، والكلس صودا الباردة ، وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين في الفصل 18 .



الصورة 4 . 8 . قيم SiO_2 المسموح بها في مياه المراجل من أجل مختلف الضغوط البخارية

تستخدم على نطاق واسع المعالجة بالمغنسيا لإزالة السيليكا ، وطريقة الكلس صودا الساخنة ذات المرحلتين ، وطريقة الكلس الساخنة وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين . وجهاز التيسير المستخدم لغرض المعالجة الساخنة ، هو من نمط دثار العكارة (تلامس الجوامد المعلقة) ، لأنه فعال جداً في تخفيف محتوى السيليكا ، ولأنه أيضاً يؤمن للمرشحات صبيباً أكثر نقاء مما هو عليه في الأنماط التقليدية . إذا كانت كمية هيدروكسيد المغنيزيوم ، المترسبة من عسرة المغنيزيوم في المياه المعالجة ، غير كافية لإزالة السيليكا بالدرجة المطلوبة ، فإنه تضاف كمية أخرى من المغنسيا عن طريق استخدام الكلس الدولوميتي و/ أو المغنسيا المنشطة .

وسوف نصف في الفصل 19 إزالة السيليكا باستخدام المغنسيا في الطرق الساخنة لتيسير الماء

تزال السيليكا بشكل ممتاز ، في طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، عن طريق استخدام مبادلات الأيونات القاعدية العليا ، وكما ذكرنا في موضع سابق من هذا الفصل ، فإنه يمكن استخدام مختلف الأنظمة من معدات نزع المعادن ، وذلك اعتماداً على تركيب المياه التي نقوم بمعالجتها ، وعلى النتائج المطلوبة ، وعلى تكاليف التشغيل وتكاليف رأس المال الخ . وللاطلاع على أوصاف الأجهزة الثمانية لنزع المعادن وإزالة السيليكا ، انظر الفصل 17 .

نزع الهواء Deaeration :

تطبق عملية نزع الهواء من مياه تغذية المراجل لإزالة الأكسجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون . فالأكسجين أكاّل ، والنتروجين خامل ، وثاني أكسيد الكربون إضافة إلى كونه أكاّلاً ، فإنه يخفض قيمة الـ PH في ناتج التكثيف . ينخفض محتوى الأكسجين المنحل ، عند إجراء نزع الهواء بمعدات مصممة على نحو مناسب ، إلى أقل من 0,005 مل / ل (0,007 ppm) .

تلي عملية نزع الهواء عادة ، المعالجة بعامل لنزع الأكسدة ، كسلفيت الصوديوم أو الهيدرازين ، بقصد إزالة ثمالات الأكسجين ، أو الأكسجين الذي قد يدخل بصورة عرضية مع عائدات ناتج التكثيف . ويتضمن الجدول 1. 8 الجرعات اللازمة من سلفيت الصوديوم للتفاعل مع مختلف الكميات من الأكسجين المنحل . يضاف إلى ذلك أن زيادة من سلفيت الصوديوم تبقى عادة في محاليل المراجل الملحية وقد تتراوح من 30 ppm في ضغوط تصل حتى 750 باونداً / إنش^2 لكنها قد تنقص إلى حوالي 5 ppm مع ارتفاع إلى ما يزيد قليلاً عن 1000 باونداً / إنش^2 بحيث تنطلق في ضغوط أعلى مركبات الكبريت في البخار . ويتميز الهيدرازين في الضغوط العالية جداً ، بعدم سماحه بدخول المواد الصلبة المعدنية أياً كانت .

يطبق نزع الهواء أيضاً من ناتج التكثيف ، للتخلص منه بوصفه مصدراً للأكسجين المنحل . ويمكن أيضاً استخدام الأمونيا أو الأمينات ، كمواد مثبطة للتآكل

في خطوط (أنابيب) العودة . وعلى الرغم من أنه كثيراً ما يمكن التسامح بوجود محتويات من الأكسجين المنحل ، في المراجل العالية الضغط ، بحدود تتراوح من بضعة أجزاء من المائة إلى 0,3مل / ل ، إلا أن أفضل تطبيق هو نزع الهواء من الماء على أكمل وجه ممكن ، حتى في حجرات المراجل الصغيرة نسبياً ، التي تتوفر فيها أجهزة نزع الهواء ، التي تعرف باسم الأجهزة (المغلفة packaged) لنزع الهواء .

وسوف نأتي على وصف لنزع الهواء في الفصل 11 .

أما فيما يتعلق بالمياه الكبريتية فتفضل معالجتها بشكل مسبق لإزالة محتواها من السلفيد ، انظر الفصل 10 .

معالجة عائدات ناتج التكثيف : Treatment Of Condensate Returns

إن عائدات ناتج التكثيف رغم كونها مياهاً مقطرة ، فإنها تحتوي عادة على كميات بسيطة فقط من الشوائب المعدنية ، تتراوح من بضعة أجزاء في المليون إلى ما يزيد قليلاً عن 20 ppm ، أو على سبيل المثال من 0.1 إلى أكثر بقليل من 1غ / جالون . وقد يتراوح محتوى العسرة ربما من صفر إلى 15 ppm (1غ / جالون تقريباً) ، واعتماداً على الإحكام النسبي للمكثفات ونوعية مياه التبريد المستخدمة . وقد يوجد أيضاً بعض من ثاني أكسيد الكربون وبعض الأكسجين المنحل ، ويزال كلاهما بنزع الهواء ، كما ذكرنا سابقاً ، على أن يعقب ذلك استخدام عامل مزيل للأكسدة . أما فيما يتعلق بأية محتويات أخرى من العسرة ، فإنها ترسب ، في معظم الأحوال بمعالجة داخل المرجل باستخدام الفوسفات .

ملاحظة :

إن ناتج التكثيف ، في المنشآت التي تستخدم محركات أو مضخات ترددية ، يحتوي على الزيت المتسرب من تلك الآلات . وعند وجود الزيت في ناتج التكثيف ، تتوجب إزالته خوفاً من الإرغاء ، والاستعداد للاشتعال ، وتشكيل طبقات زيتية عازلة في المراجل . ويمكن تخثير الزيت (1) بكبريتات الألومنيوم ومادة قلوية ، أو (2) بكتلة متلبدة مشكلة مسبقاً ، ثم إزالتها بالترشيح من خلال مرشحة أو مرشحات الأنثراسيت . يتألف التصميم hookup من :

(1) مغذية القلوي ، ومغذية كبريتات الألومنيوم ، ومرشحة أو مرشحات الأنثراسيت ، وحوض التنظيف بالصودا الكاوية . وعلى فترات فاصلة دورية ، يستدل عليها بواسطة نقصان الضغط ، تغسل وحدة الترشيح

رجوعياً ، وعلى فترات فاصلة أطول ، هي عادة كل 2 ـ 4 أسبوعاً ، تغسل بمحلول الصود الكاوي الموجود في حوض التنظيف ، والذي يعمل على حل الكتلة المتلبدة اللاصقة ، ويحول محتواها من الزيت إلى مستحلب فينظف بالتالي سرير المرشحة .

(2) يجري إطعام الكتلة المتلبدة المتشكلة مقدماً ، على شكل روية إلى ناتج التكثيف ، المتدفق إلى وحدة أو وحدات الترشيح . تزود المرشحة المستخدمة عادة بمحراك تقليب يديره محرك . ويتسبب التحريك أثناء الغسل الراجع للمرشحات بجرف الكتلة المتلبدة اللاصقة فتحملها مياه الغسل كنفاية .

في حجرات المراجل حيث تعمل المراجل بضغوط عالية جداً ، يجب أن تكون عائدات ناتج التكثيف من نوعية عالية . وتشمل هذه ليس فقط عائدات ناتج التكثيف إلى المراجل التي تعمل في المعدل فوق الحرج (أكثر من 3200 باونداً / إنش^2) ، بل أيضاً إلى كثير من تلك التي تعمل بما تعرف بالمعدل دون الحرج ، و إلى المراجل التي تعمل في منشآت الطاقة النووية ، و لذلك تتوجب معالجة عائدات ناتج التكثيف إلى المراجل التي تعمل بمثل هذه الضغوط العالية ، لإنقاص الشوائب الذوابة واللاذوابة ، كالحديد ، والنحاس ، والغبار ، والسيليكا ، والكهارل إلى أدنى درجة ، وذلك لمنع حدوث الرواسب في المراجل وأجهزة التسخين الفائق ، وعلى أرياش التوربينا ، وتخفيف التأثيرات الأكالة .

ولهذا الغرض تشمل معالجة ناتج التكثيف الترشيح ونزع المعادن . ومن الواضح أنه يجب إزالة ثمالات الأكسجين المنحلة ، ويستخدم الهيدرازين عادة للتخلص من أية آثار قد تكون موجودة في الإضافة المعوّضة أو في ناتج التكثيف . وفيما يتعلق بالترشيح ونزع المعادن من ناتج التكثيف فإنه يتم إجراء الترشيح في أنماط خاصة من المرشحات التي تستخدم فيها نواتج سيللوزية من الصنف الممتاز ، مصنوعة خصيصاً لهذا الغرض ، لأن الوسط المرشح ونزع المعادن ينجزان عادة في معدات السرير المختلط لنزع المعادن بتبادل الأيونات . ونظراً لكون كميات الشوائب في ناتج التكثيف ، الذي يعبر معدات نزع المعادن قليلة جداً (يعبر عنها عادة بأجزاء من البليون) ، فإنه يمكن استخدام معدلات جريان عالية تقريباً ، وتكون حجوم ناتج التكثيف ، الذي يعالج بين تجديدين ، كبيرة . يمكن في بعض المنشآت نزع المعادن من نسبة معينة (

15 . 40 % تقريباً) من ناتج التكثيف ، وفي منشآت أخرى يمكن نزع المعادن من كامل الناتج .

المعالجة الداخلية لمياه المراجل : Internal Treatment Of Boiler Waters

يمكن تطبيق المعالجة الداخلية لمحاليل المراجل الملحية :

(1) للتغلب على ثمالات العسرة البسيطة الناجمة عن المعالجة الخارجية للإضافة المعوِّضة ، أو تلك التي دخلت مع عائدات ناتج التكثيف عن طريق إضافة فوسفات ذوابة .

(2) للتغلب على الميول الأكالة لأي من الثمالات أو الإدخالات العرضية من الأكسجين المنحل ، عن طريق إضافة سلفيت الصوديوم أو الهيدرازين .

(3) لمعالجة الماء الخام المعوِّض مع مركبات منع التقشر في المراجل .

وكما ذكرنا سابقاً يمكن استخدام الهيدرازين في المراجل التي تشتغل بضغوط عالية جداً ، لإزالة ثمالات الأكسجين المنحل ، رغم أنها لا تُدخل أية مواد صلبة معدنية إلى المراجل ، ولكن الأمر مختلف طبعاً مع سلفيت الصوديوم . إن تفاعل الهيدرازين مع الأكسجين ، يؤدي إلى تشكل الماء و النتروجين ، كما نرى في التفاعل التالي :

$$2H_2O + N_2 \rightarrow N_2H_4 + O_2$$

وفي هذه الحالات ، يمكن أيضاً استخدام الأمونيا في المراجل لرفع قيمة الـPH ، لأنها لا تدخل أيضاً مواد صلبة معدنية .

المعالجة بالسلفيت :

كما لاحظنا سابقاً ، فإنه يمكن إزالة ثمالات الأكسجين المنحلة في إضافة التعويض وناتج التكثيف ، عن طريق تلقيم سلفيت الصوديوم بكميات كافية ، للتفاعل مع تلك الثمالات ، ولتأمين وإبقاء زيادة طفيفة في محاليل المراجل الملحية . وفي درجات حرارة المراجل ، يتفاعل سلفيت الصوديوم بسرعة مع الأكسجين لتشكيل كبريتات الصوديوم ، كما نرى في التفاعل التالي :

$$Na_2SO_3 + 1/2\ O_2 \rightarrow Na_2SO_4$$

يعبر عادة عن تركيز الأكسجين المنحل بالسنتمترات المكعبة في اللتر (سم^3 / ل) أو بالملي ليترات في اللتر (مل / ل) ، التي هي من الناحية العددية القيمة نفسها . ويمكن أيضاً التعبير عنها كأجزاء في المليون والعلاقة كما يلي :

1سم^3 / ل (أو مل / ل) من الأكسجين المنحل= 1.43 ppm

1 ppm من الأكسجين المنحل = 0,698 سم^3/ ل (أو مل / ل)

وندرج في الجدول 1. 8 جرعات سلفيت الصوديوم ، مقدرة بالباوندات في كل 1000 جالوناًاللازمة للتفاعل مع 0,01 . 0,30 مل / ل من الأكسجين المنحل

الجدول 1. 8 : الجرعات النظرية من Na2SO3 من أجل 0,01 . 0,3 مل / ل من الأكسجين المنحل .

Na_2SO_3	الأكسجين المنحل	
ليبره / 1000 جالوناً	ppm	مل / ل
0.000939	0.0143	0,01
0,00188	0.0286	0,02
0,00282	0.0429	0,03
0,00376	0,572	0,04
0,00470	0,0715	0,05
0,00939	0,143	0,10
0,0141	0,205	0,15
0,0188	0,286	0,20
0,0282	0,429	0,30

عندما يستخدم سلفيت الصوديوم كعامل لنزع الأكسدة ، تستبقى عادة زيادة في محاليل المراجل الملحية ، وتختلف هذه الزيادة ، كما ذكرنا سابقاً ، في كميتها اعتماداً على ضغط تشغيل المراجل . وندرج في الجدول 2 . 8 جرعات سلفيت الصوديوم ، محسوبة على أساس تركيز المحاليل الملحية في مياه التغذية الميسرة المنجزة في المرجل ، واللازمة للمحافظة على زيادات مقدارها 30 أو 20 أو 10 أو 5PPM في محاليل المراجل الملحية ،والتي منها تحسب بسهولة الزيادات الأخرى عند الحاجة .

وفي حالات استخدام المياه مقطرة أو منزوعة المعادن واحتواء مياه التغذية أو ناتج التكثيف على كمية منخفضة جداً من الأكسجين ، فإن كميات سلفيت الصوديوم الملقمة قد تكون قليلة جداً ، ويمكن أن تحسب الزيادة على أساس نقاء سلفيت الصوديوم ، وكفاية من حوالي 75% . ومن الواضح أن الهيدرازين يتميز في الضغوط العالية ، وحيث يتوجب تفادي المواد الصلبة المعدنية ، على سلفيت الصوديوم في كونه لا يدخل أياً من تلك المواد .

الجدول 2 . 8 سلفيت الصوديوم : إضافة لتأمين زيادة مقدارها 30 أو 20 أو 10 أو 5 ppm في محاليل المراجل الملحية .

Volume Concen'n	30 ppm	20 ppm	10 ppm	5 ppm
	(lb/1000 gal)	(lb/1000 gal)	(lb/1000 gal)	(lb/1000 gal)
6-1	0.0417	0.0278	0.0139	0.0069
7-1	.0357	.0238	.0119	.0060
8-1	.0313	.0208	.0104	.0052
9-1	.0278	.0185	.0093	.0046
10-1	.0250	.0167	.0083	.0042
12-1	.0208	.0139	.0069	.0035
14-1	.0179	.0119	.0060	.0030
16-1	.0156	.0104	.0052	.0026
18-1	.0139	.0093	.0046	.0023
20-1	.0125	.0083	.0042	.0021
22-1	.0114	.0076	.0038	.0019
24-1	.0104	.0070	.0035	.0017
26-1	.0096	.0064	.0032	.0016
28-1	.0089	.0060	.0030	.0015
30-1	.0083	.0056	.0028	.0014
32-1	.0078	.0052	.0026	.0013
34-1	.0074	.0049	.0025	.0012
36-1	.0070	.0046	.0023	.0012
38-1	.0066	.0044	.0022	.0011
40-1	.0063	.0042	.0021	.0010

المعالجة بالفوسفات :

كما ذكرنا تحت عنوان (معالجة عائدات ناتج التكثيف) فإنه يمكن لناتج التكثيف أن يدخل كميات بسيطة من العسرة إلى المرجل . ومع أن الكميات الموجودة في هذا الناتج قد تكون قليلة جداً ، إلا أن وجودها قد يصبح ملحوظاً ، بسبب ما يحدثه التبخر من تركيز في المرجل . وبصورة مشابهة تتركز العسرة الثمالية في الإضافة المعوّضة المعالجة خارجياً في المحاليل الملحية للمراجل .

إن الفوسفات الذوابة ، التي تضاف إلى المحاليل الملحية بكميات تكفي لترسيب العسرة وللإبقاء على زيادة في المحاليل الملحية للمراجل سوف تتفاعل بكميات تكفي مع ثمالات العسرة وترسبها في شكل غير لزج ، وبالتالي تحول دون تشكل القشرة .

وندرج في الجدول 3. 8 الكميات من مختلف الفوسفات التجارية اللازمة للتفاعل مع 1-30 ppm من العسرة وفي الجدول 4 . 8 الكميات الإضافية من مختلف أنواع الفوسفات محسوبة على أساس تراكيز المحاليل الملحية في مياه التغذية الميسرة المنجزة في المراجل ، للإبقاء على زيادة 40 ppm من PO_4 الذوابة في المحاليل الملحية للمراجل وكما هي الحال مع زيادات سلفيت الصوديوم ، فإن زيادات الفوسفات المستخدمة في التطبيق تختلف بحسب الضغوط التي تُشغّل فيها المراجل ففي ضغوط تصل حتى 750 باونداً / إنش^2 كثيراً ما يستخدم 40 ppm لكن هذه النسبة قد تخفض إلى حوالي 10 ppm عند ضغط 1000 باونداً / إنش^2 ، و إلى 5 ppm أو أقل في ضغوط أعلى ومن الواضح أن أية زيادة نريد الإبقاء عليها في المحاليل المليحة للمراجل ، يمكن أن نحصل عليها من هذه القيم عن طريق استخدام العامل المناسب فللإبقاء على زيادة 20 ppm مثلاً ، نضرب بـ 0,5 ، الخ وبعدئذٍ نقوم بإجراء فحوص دورية على المحاليل الملحية ، فنعدل الجرعات بالقدر الضروري للمحافظة على الزيادة التي نريدها من PO_4 الذوابة .

وكما لاحظنا مؤخراً ، فإن الفوسفات تستخدم أيضاً في مركبات منع تشكل قشرة المراجل بترسيب العسرة في المياه الخام المستعملة للتغذية ، وذلك في مراجل الضغط المنخفض عادة . أما في المراجل ذات الضغط العالي جداً ، حيث تنزع المعادن من

مياه التغذية ومن ناتج التكثيف ، وحيث يتوجب تفادي دخول المواد الصلبة المعدنية ، فإنه يمكن استخدام الأمونيا لرفع قيمة الـ PH .

الجدول 3 . 8 . الاحتياجات من الفوسفات : لترسيب ppm 30– 1 من العسرة .

$CaCO_3$ (ppm)	(lb/1000 gal required to precipitate hardness)						
	NaH_2PO_4	NaH_2PO_4-H_2O	Na_2HPO_4	Na_2HPO_4-$12H_2O$	Na_3PO_4-H_2O	Na_3PO_4-$12H_2O$	$NaPO_3$
1	0.007	0.008	0.008	0.021	0.010	0.021	0.006
2	.014	.015	.016	.042	.020	.042	.011
3	.020	.023	.024	.062	.030	.063	.017
4	.027	.031	.032	.083	.040	.084	.023
6	.041	.046	.048	.125	.060	.125	.034
8	.054	.061	.064	.166	.080	.167	.046
10	.068	.076	.081	.208	.100	.209	.057
12	.082	.091	.097	.249	.120	.251	.069
14	.095	.106	.113	.291	.140	.292	.080
16	.109	.122	.129	.332	.160	.334	.092
18	.122	.137	.145	.374	.180	.376	.103
20	.136	.152	.161	.416	.200	.418	.114
22	.150	.167	.177	.457	.220	.460	.126
24	.163	.182	.193	.499	.240	.501	.137
26	.177	.197	.209	.540	.260	.543	.149
28	.191	.212	.226	.582	.280	.585	.161
30	.204	.227	.242	.623	.300	.627	.172

ملاحظة : يبين الجدول 3 . 8 الكميات اللازمة من مختلف أنواع الفوسفات ، مقدرة بالباوندات في كل 1000جالوناً ، لترسيب من 1 – ppm 30 من العسرة معبراً عنها كـ $CaCO_3$ وللمحافظة على ppm 40من الفوسفات الذوابة (على شكل PO_4) في المحاليل الملحية للمراجل ، من الضروري أن نضيف إلى كمية الفوسفات الموجودة في الجدول 3 . 8 ، الكمية الموجودة في الجدول 4 . 8 ، والتي تستمد من التراكيز المتحصلة في المرجل وتحسب هذه الجداول على أساس الفوسفات التجارية التالية :

الاسم	الصيغة	% P_2O_5
الفوسفات أحادية الصوديوم اللامائية	NaH_2PO_4	58
الفوسفات أحادية الصوديوم	$NaH_2PO_4 . H_2O$	52
الفوسفات ثنائية الصوديوم اللامائية	$Na_2 HPO_4$	49
الفوسفات ثنائية الصوديوم	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	19
الفوسفات ثلاثية الصوديوم	$Na_3PO_4 \cdot H_2O$	39,5

الفوسفات ثلاثية الصوديوم	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	18,9
ميتا فوسفات الصوديوم	$NaPO_3$	69

Volume Con-cen'n	(additional lb/1000 gal to maintain 40 ppm soluble PO_4 in salines)						
	NaH_2PO_4	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	Na_2HPO_4	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	$Na_3PO_4 \cdot H_2O$	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	$NaPO_3$
6–1	0.0714	0.0799	0.0848	0.219	0.105	0.219	0.0602
7–1	.0614	.0684	.0727	.187	.0901	.187	.0516
8–1	.0537	.0599	.0636	.164	.0789	.164	.0451
9–1	.0477	.0532	.0565	.146	.0701	.146	.0401
10–1	.0430	.0479	.0509	.131	.0631	.131	.0361
12–1	.0358	.0399	.0424	.109	.0526	.109	.0301
14–1	.0307	.0342	.0363	.0937	.0451	.0937	.0258
16–1	.0269	.0300	.0318	.0820	.0394	.0820	.0226
18–1	.0239	.0266	.0283	.0729	.0351	.0729	.0201
20–1	.0215	.0240	.0254	.0656	.0315	.0656	.0181
22–1	.0195	.0218	.0231	.0596	.0287	.0596	.0164
24–1	.0179	.0200	.0212	.0547	.0263	.0547	.0150
26–1	.0165	.0184	.0196	.0504	.0243	.0505	.0139
28–1	.0153	.0171	.0182	.0468	.0225	.0469	.0129
30–1	.0143	.0160	.0170	.0437	.0210	.0437	.0120
32–1	.0134	.0150	.0159	.0410	.0197	.0410	.0113
34–1	.0126	.0141	.0150	.0386	.0186	.0386	.0106
36–1	.0119	.0133	.0141	.0364	.0175	.0364	.0100
38–1	.0113	.0126	.0134	.0345	.0166	.0345	.0095
40–1	.0107	.0120	.0127	.0328	.0158	.0328	.0090

الجدول 4 . 8 . الاحتياجات من الفوسفات : إضافة لتأمين 40 ppm من PO4 الذواب في محاليل المراجل الملحية .

وفي التطبيق العملي تقدر الجرعات التقريبية كما في أعلاه ، وتجري التعديلات النهائية وفقاً للكميات الذوابة من PO_4 ، الموجودة في المحاليل الملحية للمراجل ، كما تظهر في تحاليل المراقبة الدورية .

مركبات المرجل (لمنع القشرة) :

في الأيام الأولى من عصر آلة واط البخارية ، يقال بأن العمال وضعوا مرة في مرجل ، بعد تنظيفه وإعادة تعبئة كيساً من البطاطا بقصد سلقها ، فنسوه هناك ، وأغلقوا المرجل وأعادوا تشغيله . وعندما فتح من جديد لتكسير القشرة يدوياً ، اكتشف

أن القشرة المتشكلة كانت أخف بكثير ، وأن معظمها قد تساقط على شكل عكارة ، وأن ما تبقى منها أكثر ليونة ، وأسهل إزالة ربما كانت هذه القصة واقعية ، لأن المهندسين دأبوا ، على مدى سنوات عديدة ، على إلقاء بعض من حبات البطاطا في المرجل بعد كل عملية تنظيف . وبذلك بدأت المعالجة الداخلية للمحاليل الملحية في المراجل ، وهدفها الأساسي هو إنقاص كمية الرواسب اللاحقة ، وجعل القشرة المتشكلة أكثر ليونة . ومن الواضح أن إجمالي كميات الرواسب يبقى هو نفسه كما كان قبل تطبيق المعالجة الداخلية ، ولكن صرف أو جرف العكارة أسهل من إزالة القشرة بواسطة الجلخ أو التكسير . واستخدم بعد ذلك نشاء البطاطا ، وبعده استخدم العفص ومواد أخرى عضوية وغير عضوية وقد يكون الكلس من أول المواد القلوية التي استخدمت ، ولكن وجد أن الزيادة في كمية الكلس في حد ذاتها تشكل القشرة . استبدل الكلس فيما بعد برماد الصودا والصودا الكاوية ، نظراً لأهميتها في التفاعل مع عسرة اللاكربونات ، فيحولان بالتالي دون تشكل قشرة كبريتات الكلسيوم الصلبة ، ويخففان التآكل . وفيما بعد أيضاً ، أدخلت الفوسفات وعوامل التخثير كألومينات الصوديوم ، وعوامل التأكسد كسلفيت الصوديوم . واستخدمت إضافة إلى العفص والنشاء مجموعة أو مواد عضوية مستخلصة من الخشب الطبيعي ، ومن النباتات الأخرى ، ونواتج تركيبية ممزوجة عادة بنسب مختلفة مع مقومات أخرى . وتعرف هذه المزائج تحت اسم (مركبات المراجل) وهي عندما تحضر وتستخدم على نحو مناسب تساعد في التخفيف من تشكل القشرة . ويكمن عيبها الأساسي في كونها لا تخفف إجمالي كميات الرواسب المنتجة في المراجل ، بينما تزيل المعالجات الخارجية هذه المواد التي تشكل القشرة والعكارة من المياه قبل وصولها إلى المرجل. ولتخفيف ميول الإرغاء في مراجل القاطرات ، تستخدم ، على نطاق واسع ، مركبات أخرى من بينها مركبات زيت الخروع ، و مواد تركيبية مختلفة ، وتعرف تحت اسم المركبات " المقاومات للإرغاء" .

ملاحظة :

أشرنا آنفاً إلى مركبات المراجل المشروعة ، ولكن مجموعة كبيرة من المركبات الغير مشروعة ، صنعت ، وطرحت للبيع ، وكان بعضها عديم الفائدة ، أو مغشوشاً ، أو مؤذياً ففي وقت ما ، تمّ تحليل مركبات

المراجل ، التي عرضت على سلسلة طويلة من المصانع ، فأظهرت نتائج التحليل أموراً تدعو إلى الدهشة والاستغراب . فقد تبين أن هذه المركبات ، هي عبارة عن سائل رقيق شاحب ، وعملياً كله من الماء ، لأنه يحتوي على أقل من $2/^1$ % من خلاصة نباتية ما . ومركب آخر ، وصف على أنه ألومينات الباريوم ، ويحمل توجيهات استخدام ، تقضي بحل عدد معين من الباوندات منه في براميل من الماء ، ويترك مستقراً خلال الليل لكي يترسب ، ثم يسحب السائل الرائق ، ويستخدم ، ويطرح الراسب ، وعند التحليل ، وجد أن المادة في 88% منها ، هي كبريتات الباريوم اللاذوابة ، وهو راسب لا فائدة منه ، يتوجب التخلص منه . وكانت ألومينات الباريوم في هذا المركب بنسبة 10% ، واحتوت مركبات أخرى على دبس السكر ، والكلس ، وسيليكات الصودا ، ومختلف أنواع الخلاصات النباتية ، الملائمة وغير الملائمة ، كما ذكر وجود الزيت المعدني والصابون من قبل آخرين .

وكانت هناك رسالة مما يدعى بالكيميائي الرئيسي عند مصنّع المركب ، ينصح فيها من يستخدم منشأة تيسير الماء بالزيوليت بإخراج وطرح النصف من كل سرير زيوليتي ، واستخدام الملح أقل بمقدار الثلث لأن عسرة الماء الميسر كانت أقل من صفر ، وان الحمض في الماء الشديد القلوية كان يتآكل المرجل . وكان يتوجب طبعاً استخدام مركبه النباتي للتغلب على هذه التأثيرات السيئة ، وذكر أن مركبه ، سواء صدقنا أم لم نصدق ، سوف ينظف أية حفر ، ويجعلها أكثر عمقاً ، وإنه إلى الرغم من عدم رؤية الحفر الآن فإنها سوف تصبح مرئية بعد استعماله .

<u>الأدوات الكهربائية Electrical Cadgets</u> ، الوصف التالي لا علاقة له بالوسائل الكهربائية الشرعية لحماية الكاثود ، إلخ ، لكنه ببساطة وصف لوسائل مضللة ، والتي تحمل عادة الظهور فجأة ، والتألق لمدة يوم واحدة ، والتلاشي إلى ظلمة ، ويعدئذٍ مرحلة التجسد مجدداً .

<u>والوسيلة الأولى</u> تلك الوسائل كانت إلكتروداً معدنياً أسطوانياً ، ذا قبضة مطاطية صلبة ، بقطر $_2/^1$ إنشاً، وطول إجمالي مقداره 8 إنشاً . عندما تربط هذه الأداة إلى دارة إنارة ، أي نوع من التيار ، سواء كان متناوباً أو مستمراً ، فإنها تيسر الماء ، وتمنع ، على الأقل كما يدعون ، تحمض الحليب والأشربة المعتقة . وعند الاختيار ، وُجد أنها لا تيسر الماء ، ولا تعقم الحليب والشراب .

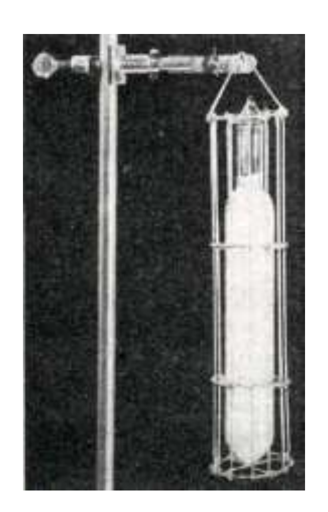
<u>والوسيلة الثانية</u> تتألف من إلكترودين معدنيين في قطعة لتركيب الأنابيب ، توضح في خط الأنابيب الذي يحمل مياه تغذية مياه المرجل ، بحيث تجري مياه التغذية فوقها ، وهي في طريقها إلى المرجل . وتربط هذه الأداة أيضاً إلى دارة إضاءة ، أيّاً كان نوعها . وقد زعموا ، أن هذه الأداة تمنع تشكل القشرة والعكارة ، وتآكّل المرجل . لكنهم لم يشرحوا الطريقة التي تقوم بها بهذه المهمات . وعند الاختبار ، وجد أيضاً أنها لا تيسر الماء .

<u>والوسيلة الثالثة</u> بصلة زجاجية مختومة ، تحتوي على قليل من الزئبق ، وعلى مزيج من الغازات المخلخلة بدرجة عالية ترسل عند رجهّا في الظلام ألقاً ضعيفاً مخضراً . وقد زُعم بأنها تيسر الماء ، وتمنع تشكل القشرة ، وتوقف التآكل ، إلخ ، وكل هذا عن طريق وسيلة بسيطة لجريان الماء فوقها ، وبدون نفقة تشغيل ، أياً كانت . أما بالنسبة للمنشآت الكبيرة ، كحجرات المراجل ، ومغاسل الملابس ، وغيرها ، فتستخدم مجموعة من البصلات في حاوية . أما المسافرون ، فيستخدمون بصلة واحدة صغيرة ، وهي كما زعموا ، لا تستخدم فقط للمشروبات المعتقة والمياه الميسرة ، ولكن معجزة المعجزات هذه ، إذا حركنا بها مياه الشرب المعالجة ، فإنها تمنع تشكل القلح على الأسنان ، وتزيل القلح القديم أيضاً . وهي توفر الصابون أيضاً في عملية غسل الملابس . ولكنها زودت بتحذير مفاده ، أنه إذا أصر أحد الكيميائيين على

إجراء اختبار الصابون على الماء ، قبل وبعد المعالجة ، فإنه سيكّون فكرة خاطئة حول أنه لم يحصد شيئاً ، لأن هذه الأداة تحدث تغييراً فيزيائياً لا كيميائياً ، ولذلك تصبح الاختيارات الكيميائية ، كاختبارات الصابون ، عديمة الجدوى . ولكن ثبت بالتجربة ، أن هذه الأداة لا تيسر الماء ، ولا تمنع تشكل القشرة .

والوسيلة الرابعة ، كانت أداة عالية التردد ، عرضت للبيع على العديد من مصنعي معدات معالجة المياه. ولأن أحداً لم يقم بشرائها ، فإن كل ما يعرف المؤلف عنها ، هو أن الشهادات (الأجنبية) كانت رائعة .

والوسيلة الخامسة ، كانت تجسداً جديداً للأداة الثانية ، وفي هذه المرة فقط ، لم يكن هناك ، فيما يبدو ، تحديد للقدرات ، لأنها وفقاً لكتابات المخترع " تلطف الألكترونات" . ولكن المؤلف لا يعرف ، على وجه الضبط ، كيف يكون " الالكترون الملطف" . إنما يبدو بالتأكيد شبيهاً بنوع من مخلوق غير مؤذٍ أو حتى ودود ، كما أضافت الشعارات التي رّوس بها المخترع أوراقه مسحة حميمة أكثر .



الصورة 5 - 8 . أداة الفعالية الإشعاعية وفقاً للادعاءات ، أمكن منع حدوث القشرة والتآكل في المراجل ، وأجهزة التبريد ، بمجرد مرور الماء فوق هذه الأداة .

أدوات الفعالية الإشعاعية Radioactive Gadgets :

تتألف هذه الأداة ، كما تظهر في الصورة 5 – 8 ، من أنبوب زجاجي مختوم بشكل محكم ، مملوء بالملح في حوض سلكي مغلفن . يبلغ قطر الجزء من الأنبوب الذي يحتوي الملح $1\,^{1}/_{2}$ إنشاً ، وطوله 7إنشاً . قيل أنه عند ما يعلق عدد من هذه الأدوات في صهريج للماء ، فإن الماء يتأثر بالإشعاعات ، فيحول ذلك ليس فقط دون تشكل القشرة ، بل يسبب تفكك القشرة القديمة أيضاً . وقيل أيضاً أن هذه الأداة قابلة للتطبيق في معالجة مياه التغذية للمراجل الثابتة ، والمتحركة ، كما أنها تمنع تشكل القشرة في دثارات التبريد وغيرها . ولكن الاختبارات كذبت كافة هذه الادعاءات . وكانت المفاجأة كبيرة ، عندما لم يمكن اكتشاف أثر للإشعاع مع استخدام أكثر الأجهزة حساسية . وعندئذ تم فتح أحد تلك الأنابيب ، فوجد أن محتوياته كانت من ملح عادي ، وكمية بسيطة من زيت عطري ، كان فيما يبدو زيت القرفة أو السّنا .

ظاهرة إزالة القشور Descaling Phenomena :

في رأي المؤلفين ، أن بعضاً من هذه الأدوات ، هو من إنتاج مخترعين مخدوعين ، وأن هؤلاء الناس ، والمسألة غريبة كما تبدو ، يؤمنون بها فعلاً . والضلالة الأكثر شيوعاً ، هي أن هذه الأدوات ، ستزيل القشرة القديمة ، وسوف تحول دون تشكل القشرة جديدة ، وأصل هذه الفكرة ربما يعزى إلى ظاهرة معروفة

جيداً من قبل ممتهني معالجة المياه ، لكنها فيما يبدو غير معروفة لسواهم ، وأعني أن تبدلاً ما في تركيب المحاليل الملحية للمراجل ، كثيراً ما يسبب تفكك القشرة القديمة تماماً ، حتى تعرية المعدن ، وهكذا فإن تبدلاً في تركيب الماء الخام ، أو تبدلاً في المركبات ، أو توقفاً مؤقتاً في مياه التغذية ، سوف يسبب غالباً ، تقشّر القشرة القديمة .

ولتوضيح ذلك ، سوف نكتفي بإيراد مثالين :

في المثال الأول ، شركة للغاز ، تستخدم مياه بئر عسر ، فتشكلت قشر ة في المراجل ، وفي ملفات تبريدها . ونظراً لازدياد الكلوريدات في مياه هذا البئر ، بسبب الرجوع التدريجي إلى مياه البحر ، فقد حفرت بئر أخرى أكثر بعداً عن الشاطئ . وكانت مياه البئر الثانية عسرة أيضاً ، لكنها عندما استخدمت لأول مرة ، تقشرت القشرة القديمة عن المراجل ، وعن ملفات التبريد وصولاً إلى المعدن العادي . ولم تبدأ القشرة الجديدة بالتشكل ، إلا بعد أن كانت القشرة القديمة قد تقشرت عملياً .

وفي المثال الثاني ، وحدة لتوليد القدرة ، كانت تستخدم مياهاً ، تحتوي على 1.5 قمحة من العسرة ، وكانت تستخدم الفوسفات للمعالجة الداخلية في المراجل . وعندئذٍ أدخلت ، على سبيل التجربة ، الأداة العجيبة الثالثة ، الكرة الزجاجية ، وتوقفت المعالجة بالفوسفات . ولدهشة الجميع ، تقشرت القشرة القديمة رقيقة جداً من على الأنابيب حتى المعدن العادي . وبعد مرور ستة أسابيع ، تعطل أنبوبان ، وعند فتح المراجل ، وجد أنها مكسوة على نحو سيئ بقشرة جديدة صلبة جداً . ولا حاجة إلى القول بأن الأداة نبذت ، وأن الأنابيب المعطلة استبدلت ، والقشرة أزيلت ، واستأنفت التغذية بالفوسفات

التصريف Blow off :

في طرق معالجة مياه تغذية المراجل جميعها باستثناء طريقتي نزع المعادن ، والتقطير لا تتم إزالة الكبريتات والكلوريدات (إضافة إلى بعض القلوية أو جميعها) وتظهر على شكل أملاح صوديوم في مياه التغذية . وعند استخدام هذه المياه في المراجل البخارية ، تتركز أملاح الصوديوم هذه في المحاليل الملحية ، فإذا استمر التركيز دون أن تكبح ، فإنه سوف يصل إلى نقطة يحدث عندها إرغاء و/ أو شحن Priming . ورغم أن هاتين العبارتين تستخدمان عادة على نحو مترادف ، إلا أن عبارة شحن تشير إلى غليان مفاجئ انفجاري تقريباً وهو ما يسميه الكيميائيون بـ "الجيشان" . أما عبارة " إرغاء" فتشير إلى تشكل زبد حقيقي ، يتألف من فقاعات صغيرة جداً من البخار ، تنتثر خلال الطبقات العليا من المحاليل الملحية في المراجل ، فيؤدي الإرغاء والشحن إلى حمل" من الأملاح والماء ، مع ما يلازم هذا الحمل من مخاطر .

يختلف التركيز النوعي ، الذي يحدث عنده الإرغاء أو الجيشان في مختلف الأحوال ، وفقاً لعدة عوامل ، كتركيب الأملاح ، ووجود أو غياب المادة المعلقة ، وتصميم المراجل ، والضغط والقدرة اللذين تشغّلانه ، فكلما كان الضغط والقدرة أعلى ، كلما كان التركيز ، الذي يحدث عنده الإرغاء أو الجيشان ، أدنى ، وتختلف الآراء فيما يتعلق بالميول النسبية للازدياد في العديد من أملاح الصوديوم . وفي عدد من الاختبارات ، ثبت أن كبريتات الصوديوم ، تشكل عامل إرغاء أسوأ من كربونات أو كلور الصوديوم . وعلى أية حال ، يجب تفادي حدوث الإرغاء والجيشان ، كما يجب العمل دائماً على إبقاء تركيز المحاليل الملحية في المراجل دون نقطة الخطر .

يمكن المحافظة على تركيز المحاليل الملحية دون رقم معين ، عن طريق تصريف الكمية اللازمة من المحاليل الملحية في المرجل إلى الهدر ، وتغذية المرجل ، إما دورياً ، أو بصورة مستمرة وهذا أفضل ، بماء عذب ، يعمل على تخفيف المحاليل الملحية .

وندرج في الجدول 5 – 8 حدود هذه التراكيز ، آخذين بعين الاعتبار عدم وجود الزيت أو الشحم ، أو أية مواد محرضة على الإرغاء .

الجدول 5 – 8 : حدود التركيز في مياه المرجل في وحدات ذات دارة (لتجميع) البخار

الضغط عند مخرج وحدة توليد البخار (ليبره / إنش^2)	إجمالي الجوامد (ppm)	إجمالي القلوية (ppm)	الجوامد المعلقة (ppm)
0 – 300	3500	700	300
301 – 450	3000	600	250
451 – 600	2500	500	150
601 – 750	2000	400	100
751 – 900	1500	300	60
901 – 1000	1250	250	40
1001 – 1500	1000	200	20
1501 – 2000	750	150	10
2001 فما فوق	500	100	5

ويمكن حساب الكمية التي يتوجب تصريفها على أساس :

(I) النسبة المئوية للإضافة المعوِّضة .

(II) النسبة المئوية للتبخر في المراجل .

(1) لتكن آ = التصريف في النسبة المئوية من الإضافة المعوضة .

ب = إجمالي الجوامد في الإضافة المعوضة مقدرة بأجزاء من مليون .

ج = التركيز المسموح لمحلول المراجل الملحية مقدراً بأجزاء من المليون

عندئذ $آ = \frac{ب \times 100}{ج}$

مثال : إذا كانت ب = 200 ppm و ج = 2000 ppm

عندئذٍ $آ = \frac{200 \times 100}{2000}$ = تصريف 10% بلغة الإضافة المعوِّضة

(2) لتكن آ = التصريف بلغة التبخر في المرجل

ب = إجمالي الجوامد في مياه التغذية (إضافة تعويض + ناتج تكثيف) بأجزاء من مليون .

ج = التركيز المسموح لمحاليل المراجل الملحية ، مقدراً بأجزاء من مليون .

عندئذٍ $آ = \frac{ب \times 100}{ج - ب}$

مثال : كانت مياه التغذية تتألف من 25 % من إضافة معوضة من ماء ميسر يحتوي على 200 ppm من جوامد إجمالية ، و 75 % من عائدات ناتج التكثيف ، عندئذٍ ب = 25 % من 200 ppm . وإذا ج = 200 ppm :

عندئذٍ آ= $\frac{50 \times 100}{200 - 50}$ = 2.56% بلغة تبخر المراجل .

التصريف المتقطع **Intermittent Blow off**

إذا أطلق التصريف إلى الهدر بمجرد فتح محبس التصريف فوق مصرف ، تهدر الوحدات الحرارية التي يحتويها . يؤدي هذا التصريف المتقطع أيضاً إلى اختلاف

درجات الملوحة في المرجل ، و إلى تشغيل غير منظم . أما في التطبيق الحديث ، فقد جرى ، على نطاق واسع ، استبدال التصريف المتقطع ذي التشغيل اليدوي بعمليات التصريف المستمر الموجه آلياً .

التصريف المستمر **Continuous Blow off**

ينجز التصريف المستمر عن طريق تصريف جدول صغير من محاليل المراجل الملحية على نحو متواصل ، وبسرعة منظمة للمحافظة على انتظام التركيز في المرجل . وبعد ذلك ، يمكن لمحلول التصريف أن يعبر من خلال مبادل حراري ، تيار معاكس ، إلى مجرى إضافة التعويض ، وهكذا تسترد معظم الوحدات الحرارية . أو يمكن ، إذا كان المرجل يعمل بالضغط العالي ، دفع بعض من محلول التصريف إلى بخار ذي ضغط أقل في المرحلة أو أكثر ، قبل عبور الباقي من خلال المبادل الحراري .

تظهر الصورة 6 – 8 علب لضبط التصريف المستمر من ثلاثة مراجل . تحمل هذه العلب صمام دخول يعمل بعوامة ، يحافظ على استمرار تقديم المحاليل الملحية المبّردة فوق دفق من صمام إبري قابل للتعديل . ينظم الدفق للمحافظة على تركيز محدد في المرجل وفقاً لقياسات دورية الملوحة التصريف . ويمكن تحديد الملوحة :

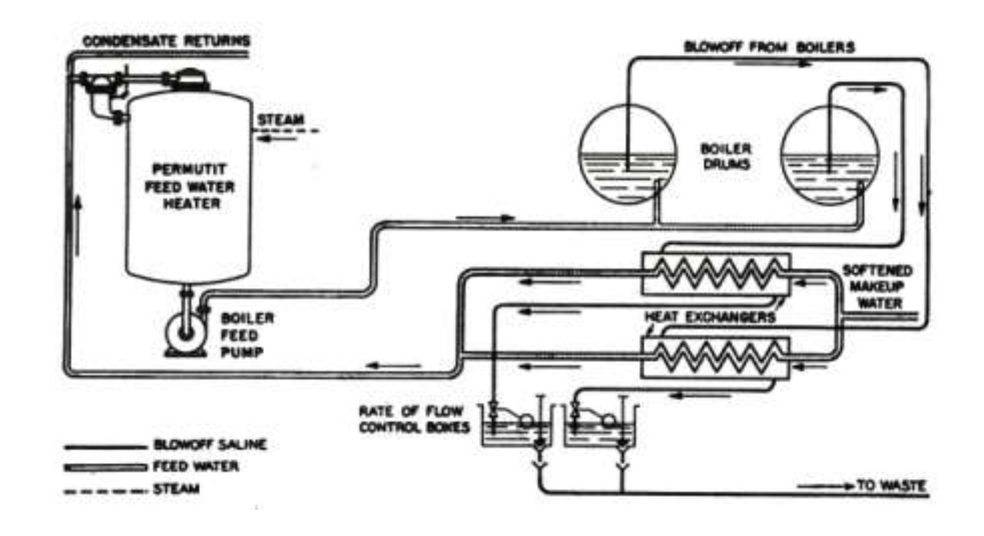


الصورة 6 . 8 : جهاز قياس ملوحة محاليل المراجل الملحية .

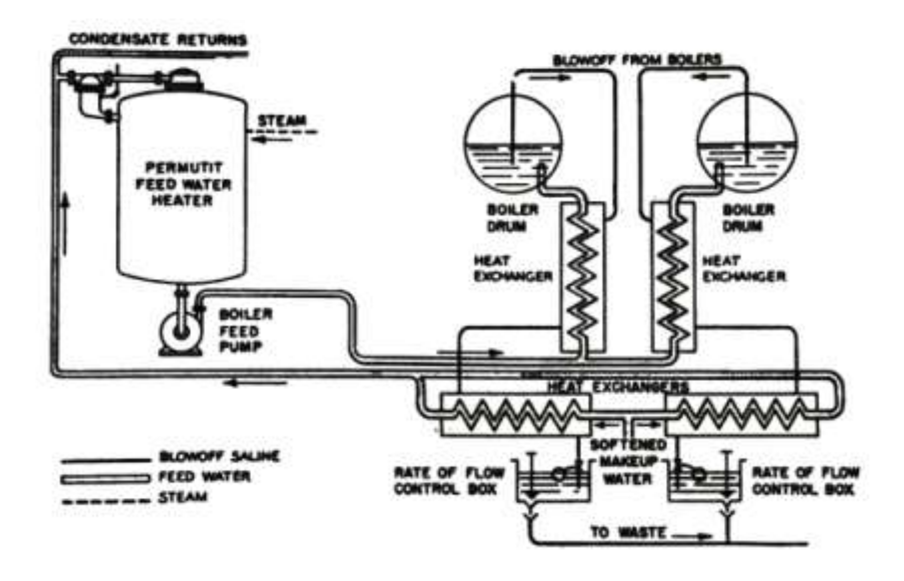
(1) كهربائياً ، أو (2) بواسطة هيدرومتر خاص . والطريقة الأولى أكثر ملاءمة ودقة ، وهناك جهاز يستخدم على نطاق واسع لهذه الغرض هو السولو بريدج Solu-Bridge ، الذي يظهر في الصورة 6 – 8 .

تظهر في الصور7– 8 و 8–8 و 9–8 و 10–8 مختلف تصاميم : (1) صهاريج الدفع والمبادلات الحرارية ، أو (2) المبادلات الحرارية . ويلاحظ أنه عند استخدام مبادلات حرارية منفصلة لكل مرحلة (الصورة 7–8 و 8 –8) ، فإن ضبط التصريف ينظم بواسطة علبة تحكم . وعندما يدفع تصريف مشترك من مرحلتين أو أكثر بمستوى طردي أو أكثر ، فإن التصريف من كل مرجل ، ينظم بواسطة صمام تحكم منفصل ، ويقام مبّرد بحيث يمكن سحب المحاليل الملحية من كل المراجل ، كل حدة ، من أجل اختيارها (انظر الصورتين 9–8 و 10–8) .

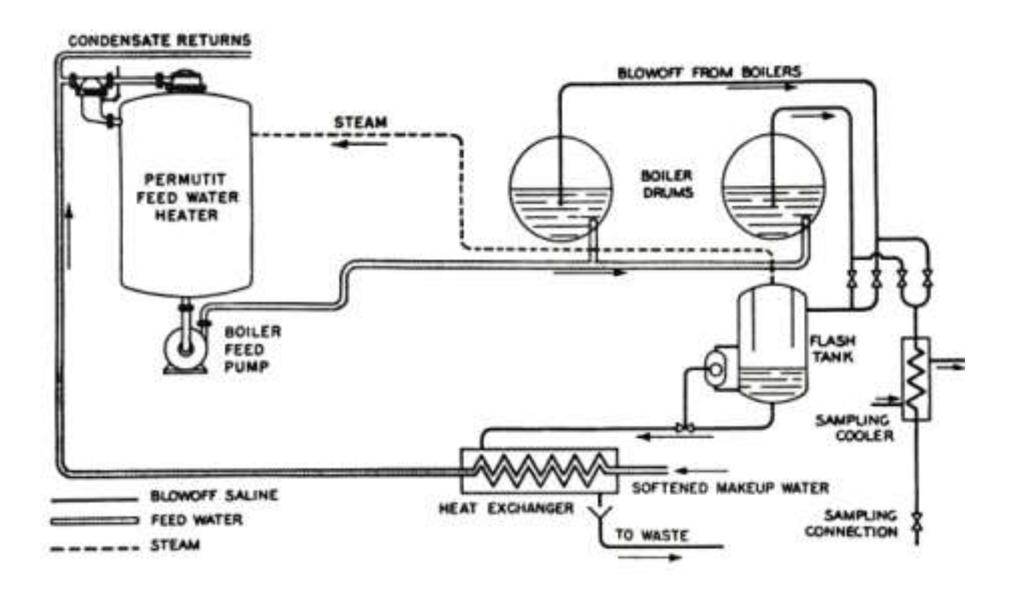
الصورة 7 . 8 منظمات للمستويات الحرارية المنخفضة اللادفعية من أجل التصريف المستمر .



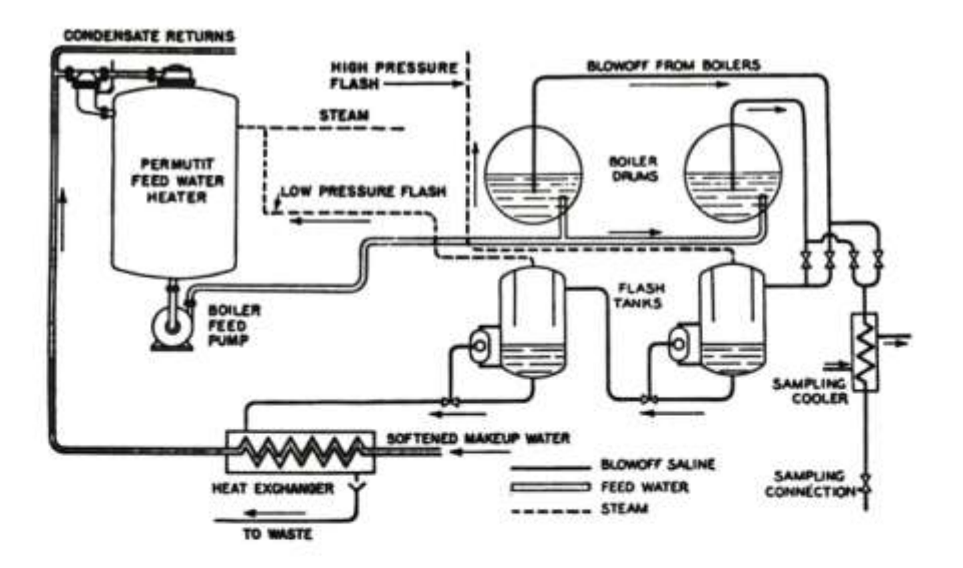
الصورة 8 . 8 : منظمات للمستويات الحرارية العالية اللادفعية من أجل التصريف المستمر .



الصورة 9 . 8 : منظمات للمستويات الحرارية المنخفضة الدفعية للتصريف المستمر .



الصورة 10 . 8 : منظمات للمستويات العالية الدفعية للتصريف المستمر .



التصدع البلّوري البينـي لمعدن المرجل

Inter crystalline Cracking Of Boiler Metal

إذا أُبقي معدن المرجل ، المجهد إلى ما فوق حد مرونته ، على تماس مع محلول الصودا الكاوية الحار والمركز إلى درجة عالية ، فقد يظهر التصدع البلّوري الذي يعرف عادة بـ "التقصف الكاوي" . ولكي يحدث هذا التقصف ، من الضروري أن يكون تركيز محلول الصودا الكاوية أكثر من 10% ، كما ذكرنا أيضاً ، أن يكون إجهاد معدن المرجل فوق طاقة مرونته . علاوة على ذلك ، فإن سيليكات الصوديوم تسرّع هذا الفعل ، ربما لأنها تحمي السطوح البلورية إلى حد ما ، بحيث يتركز الهجوم على التخوم الحبيبية .

ومن الواضح أن لا وجود لمثل هذه التراكيز العالية من الصودا الكاوية في المحاليل الملحية للمراجل ، ولكن التسرب قد يجد ، فيما يبدو ، أحياناً يمكن لارتشاحات المحاليل الملحية أن تتركز فيها عن طريق تبخرها إلى الجو . ويمكن إلى حد كبير ، التغلب على العوامل الآلية المتورطة ، في المراجل الثابتة ، بتفادي

الإجهادات والارتشاحات غير الضرورية ، وذلك عن طريق التصنيع الصحيح ، وتماس معدن لمعدن ، أو عن طريق استخدام الاسطوانات الملحومة . أما العامل الكيميائي فيمكن التغلب عليه بتفادي فرط القلويات في محاليل المراجل الملحية ، و/ أو استخدام العوامل المثبطة . وتستخدم لهذا الغرض المواد المثبطة ، العضوية وغير العضوية . ومن بين المثبطات اللاعضوية نترات الصوديوم ، والفوسفات ، وأن تحدد نسب الكبريتات إلى الكربونات . ومن بين المثبطات العضوية : سلفونات اللغنين ، وخشب الكبراش والعفص . ففي حالة استخدام نترات الصوديوم ، تكون الجرعات عادة حوالي 0.3 - 0.4 ppm لكل 1 ppm من القلوية ، والفوسفات فيما يبدو أكثر فعالية عندما تكيف نسبتها إلى نسبة القلوية بصورة جيدة ، بحيث تتشكل عند التبخر فوسفات ثلاثي الصوديوم دون زيادة في القلوية . وكانت نسب الكبريتات إلى الكربونات ، التي اقترحت كما يلي :

$\frac{Na_2SO_4}{Na_2CO_3}=1$ لضغط مرجل يصل حتى 150 باونداً / إنش^2 /جالون .

وتساوي 2 من أجل 150 . 250 باونداً / إنش^2 / جالون .

وتساوي 3 من أجل ضغوط تزيد على 250 باوند / إنش^2 / جالون .

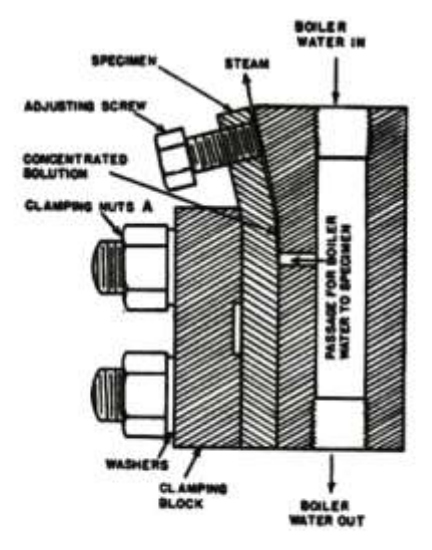
إن لمكشاف التقصف (الصورة 11. 8) أهمية كبيرة في تحديد :

(1) ما إذا كانت المحاليل الملحية في المرجل ستمارس أم لا عند ما تكون شديدة التركيز ميولاً تقصفية على المعدن المجهد بإفراط .

(2) فعالية مختلف المثبطات .

إن قطعة اختبار من فولاذ المرجل في المكشاف يجري إجهادها بشدة ، وإخضاعها عن طريق الارتشاح والتبخر ، لهجوم محاليل المراجل الملحية المركزة بشدة ، بدرجة حرارة قريبة من درجات الحرارة الموجودة في المرجل . الأداة صغيرة ويمكن بسهولة ربطها إلى المراجل الثابتة والمتحركة ، وقد أثبتت جدارتها في دراسة التقصف البلوري البيني ، وتؤهلها طريقة استعمالها لاختبار ميول التقصف في مختلف المحاليل

الملحية في المراجل ، وفعالية المثبطات في فترة زمنية قصيرة نسبياً ، وبالتالي ، استخدام التدابير العلاجية إذا لزم الأمر قبل حدوث التلف .



الصورة 12 . 8 . مكشاف شرويدر للتقصف .

الوقاية من التآكل : Corrosion Prevention

في المراجل البخارية يفضل تفادي التآكل بإزالة العوامل الأولية المسببة ، كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون . من الإضافة المعوضة ، ومن عائدات ناتج التكثيف عن طريق نزع الهواء ، والمحافظة على ارتفاع قيمة الـ PH في المحاليل الملحية للمراجل . ويضاف عامل وقائي آخر هو استخدام عامل مزيل للتأكسد ، مثل كبريتيت الصوديوم أو الهيدرازين ، كما لاحظنا سابقاً .

عندما تيسر مياه تغذية المراجل بطريقة الكلس صودا الباردة ، فإن جهاز التسخين الأولي يزيل أكثر من 95% من الأكسجين المنحل ، والذي يعتبر عادة كافياً لتشغيل مراجل الضغط المنخفض ، بدون أجهزة الاقتصاد الأنبوبية الفولاذية ، أو أجهزة التسخين المرحلية . وحيثما تستخدم أجهزة التسخين المرحلية ، وكذلك من أجل كافة المراجل ذات الضغط العالي ، نحتاج إلى نزع كامل للهواء ، وتجري عادة ، في

طريقة الكلس صودا الساخنة ، إقامة جهاز نزع الهواء داخل جهاز التيسير كقطعة مكملة للمعدات (انظر الفصل 19) .

وتستخدم مع الأنماط الأخرى من أجهزة تيسير الماء أجهزة منفصلة لنزع الهواء وهي عادة من نمط المرور المزدوج Two _ Pass Type ، حيث يدفع أولاً كل البخار المستخدم في جهاز التسخين الأولي عبر صبيبها فيخفف بالتالي محتواه من الأكسجين المنحل إلى 0,005 مل / لتر أو أقل يمكن استخدام أجهزة التسخين المكشوفة ، أو أجهزة نزع الهواء ذات المرور المفرد Single_ pass ، حيث لا يكون محتوى الأكسجين المنحل المسموح به أكثر من 0,3مل/ل . قلما يمكن نزع الهواء من مياه تغذية المراجل المتحركة إلى الحد الذي تمكن معه المحافظة على ارتفاع القلوية في المحاليل الملحية للمراجل ، وذلك بسبب المتطلبات الحيزية . إذا أدخلت الإضافة المعوِّضة فوق مستوى الماء ، بواسطة أنبوب في الحيز البخاري ، فإن التأكيل الناتج في المرجل عن مياه التغذية الغير منزوعة الهواء، أو المنزوعة الهواء بشكل جزئي ، سوف ينقص إلى حد كبير وبسبب حلمأة كربونات الصوديوم في المحاليل الملحية في المراجل ، وما يعقبها من تشكل للصودا الكاوية ، وتحرير لثاني أكسيد الكربون الطليق ، فإنه من المرغوب فيه وجود كميات منخفضة من القلوية في مياه التعويض ، وذلك لتخفيف التآكل في أنابيب إعادة ناتج التكثيف يحدث التآكل بواسطة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ، فقط عند وجود الطور السائلي . لا تهاجم أنابيب البخار الجاف ، ولكن التآكل قد يكون شديداً في أنابيب عودة ناتج التكثيف ، وخصوصاً في المواضع التي يحتبس فيها السائل . إن النزع الكامل للهواء من ماء التعويض ومن ناتج التكثيف اللذين يستخدمان في المراجل ، وللمحافظة على انخفاض القلوية في المحاليل الملحية في المراجل ، يخففان التآكل إلى حد كبير ، ولكن العائدات من البخار التي تستخدم لتدفئة المباني ، قد تُدخل الهواء الذي ينتج عنه التآكل بواسطة الأكسجين المنحل وفي مثل هذه الحالات فإن تبطين أنابيب العودة على نحو ملائم بالزفت ، بحيث لا يحدث احتباس للسائل ، وبحيث يكون تصريفه سريعاً سيخفف إلى حد كبير من هذا التآكل .

يمكن في بعض الحالات استخدام الأمينات لتثبيط التآكل ، ويمكن كما لاحظنا سابقاً ، استخدام الأمونيا في المراجل ذات الضغط العالي جداً .

وفي أنابيب المياه المعالجة ، يستخدم مثبط ممتاز للتآكل وللمشكلات المصاحبة له نتيجة استخدام المياه الحمراء ، عن طريق التغذية بمحلول سيليكات كاوية (تستخدم عادة جرعة 1 ليبره من السيليكات العادية بدرجة 40 بوميه لكل 1000جالوناً إضافة إلى ما يكفي من الصودا الكاوية لرفع قيمة الـ PH إلى حوالي 8,3) ولكن هذه الطريقة المثبطة للتآكل لا يجب استخدامها أبداً مع مياه تغذية المراجل ولهذا الغرض نلجأ عند استخدام وحدة مركزية لتيسير الماء سواء كان الماء معالجاً أو لتغذية المراجل إلى بزل الخط قبل النقطة التي تجري منها التغذية بالسيليكات الكاوية.

مياه التبريد Cooling Water :

يجب أن لا يسمح لمياه التبريد التي تستخدم للمكثفات السطحية بتشكيل قشرة أو رواسب أخرى عازلة للحرارة ، لأن انتقالاً غير فعال للحرارة مع ما ينتج عنه من انخفاض لدرجة التفريغ من المحرك الأساسي ، هو عمل غير اقتصادي وسوف نأتي على وصف مياه التبريد في الفصل 9 .

الأنظمة المائية ذي الحرارة العالية : High Temperature Water Systems

في أنظمة الماء ذي درجات الحرارة العالية (HTWS) ، يسخن الماء تحت الضغط في مراجل أنبوبية آنية التسخين ، ويدور خلال أنظمة للتدفئة وأنابيب التوصيل عائداً إلى المرجل . قد تتراوح درجات الحرارة في مختلف هذه الأنظمة من حوالي ˚300 .˚425 ف ، ويمكن استخدام أنظمة بدرجات حرارة أخفض من أجل استخدامات معينة .

وفيما يتعلق بمعالجة المياه فيمكن تغطيتها بشكل أفضل عن طريق دراسة شبكة واحدة ، ويمكن أن نضيف ، بأنه توجد كثير من هذه الشبكات ، حيث يستخدم الماء الساخن بدرجة حرارة عالية من وحدة مركزية ، للأغراض الأربعة التالية :

(1) التسخين المباشر .

(2) تسخين قنوات الماء الساخن الدوار، التي تعمل بدرجات حرارة منخفضة.

(3) تسخين مياه الاستهلاك .

(4) توليد البخار .

يجب أن تتوفر في الاحتياجات المائية العامة ، الشروط الأساسية التالي : الصفاء ، والنقاوة ، والخلو من الحديد ، والمنغنيز ، والسلفيدات الخ ، ومن الواضح، أنه إذا كان المورد المائي ، الذي يتوجب استخدامه ، لا يلبي هذه الشروط ، فإنه تجب معالجته بشكل مسبق . وفيما يتعلق بالمعالجة إلى مدى أبعد وبصورة رئيسية تيسير الماء بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت) ، فتغطيها المواد التالية :

(1) في أكثر الوحدات المركزية لمياه الحرارة العالية ، التي تم فحصها ، لم يجر تيسير أول عبوة من الماء في الشبكة قبل دخوله إليها ، وكان يجري تيسير ماء التعويض فقط . وبما أن الاحتياجات اليومية من ماء التعويض قليلة فإن أجهزة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، التي تستخدم بشكل ثابت ، لتيسير المياه المعوِّضة ، كانت وحدات صغيرة نسبياً . يمكن استخدام فوسفات ثلاثي الصوديوم في الشبكة للمحافظة على ارتفاع قيمة الـ PH ، وللتفاعل مع العسرة ومع سلفيت الصوديوم كعامل مزيل للتأكسد .

(2) حيثما تستخدم مياه الحرارة العالية في المبادلات الحرارية ، لتسخين المياه الدورانية المحبوسة إلى درجات منخفضة مضبوطة ، من أجل مختلف أغراض التسخين ، فإن المياه المعوِّضة هنا تيسر عادة بواسطة أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم .

(3) وحيثما تستخدم مياه الحرارة العالية في المبادلات الحرارية ، لتسخين مياه الاستهلاك ، عندئذٍ :

(آ) إذا كان الماء المخصص لهذه الاستخدامات ، يحتاج إلى ماء ميسر بشكل كامل ، فإنه ييسر بأجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم .

(ب) إذا كان الماء عسراً ، مشكلاً للقشرة ، ولا نحتاج إلى ماء ميسر بصورة كاملة فإننا نستخدم أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم ، لتيسير جزء من الصبيب ، ونستخدم مجرى جانبياً لتمرير النسبة الملائمة من الماء العسر ، ونمزجها بماء ميسر ، على أن لا تشكل عسرة المزيج قشرة في درجة الحرارة التي نصل إليها عند تسخين الماء .

(4) عند استخدام المياه الدورانية ذات الحرارة العالية لتوليد البخار ، يتوجب تيسير كامل الماء المستخدم في مولد البخار . وتستخدم لهذا الغرض دائماً تقريباً ، أجهزة التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم . ويمكن أن تترافق هذه الأجهزة ، عند الحاجة ، بنزع الهواء ، والمعالجة بالفوسفات أو السلفيت ، أو أي معالجة أخرى داخلية .

الفصل التاسع

مياه التبريد
Cooling Waters

تستخدم كميات كبيرة من المياه لمختلف أغراض التبريد في الصناعة . وقد تكون هذه لتبريد المكثفات في وحدات توليد الطاقة ، أو مصانع التقطير ، أو مصافي النفط ، أو المصانع الكيميائية ، ولتبريد محركات الاحتراق الداخلي في وحدات الديزل لتوليد الطاقة ، أو في محركات البنزين في محطات الضغط أو الضخ ، أو محركات الغازولين في مصانع السيارات والطائرات ، ولتبريد واجهات الأفران في مصانع الفولاذ ، ولتبريد الأنابيب في محطات البث الإذاعي ، ولتبريد ضواغط التبريد أو وحدات تصنيع الغاز السائل ، ولتبريد النواتج الكيميائية والنواتج الأخرى ، ولتكييف الهواء ، ولعدد من عمليات التبريد الأخرى .

تختلف ، بدرجة مهمة ، كميات الماء اللازمة للتبريد ، وذلك حسب درجات حرارة ماء التبريد ، وحسب الاستخدام الخاص الذي يعدّ من أجله .

وفيما يلي الأرقام الشائعة : 5– 12 جالوناً تقريباً لكل ليبره واحدة من البخار المكثف في مكثفة سطحية وفي التبريد حوالي 2 – 5 جالون / دقيقة لكل طن تبريد . وفي المحركات ذات الاحتراق الداخلي كما في وحدات التبريد للديزل ، 0.2– 0.6 جالوناً / د لكل حصان بخاري .

وقد تستمد مياه التبريد من :

(1) المياه الجوفية ، (2) المياه السطحية ، (3) مياه البحر .

المياه الجوفية : Ground Waters

تفضل مياه الآبار إلى حد كبير لأغراض التبريد الآني ، وذلك بسبب انتظام درجة حرارتها . وبصورة عامة ، تكون درجة حرارة مياه الآبار والينابيع منتظمة عادة ، بشكل لافت للنظر ، فتزيد في الآبار ذات العمق 30 – 60 قدماً على ما يقارب 2 –

3° ف عن متوسط المعدل السنوي لدرجة حرارة الجو في المنطقة المحيطة ، وتزيد بحوالي درجة فهرنهايت واحدة مع كل 64 قدماً من العمق الإضافي .

المياه السطحية : Surface Waters

تخضع المياه السطحية عادة لتغيرات فصلية كبيرة في درجة الحرارة . بصورة عامة ، يتراوح الاختلاف ، في أنهار الولايات المتحدة ، بين درجات الحرارة الدنيا شتاء ، ودرجات الحرارة القصوى صيفاً من 30 ° حتى 60° ف . وفي أكثر هذه الأنهار تتراوح درجات الحرارة شتاء من 33°– 36°ف ، ومن 75°– 80° ف صيفاً ، وقد تزيد عن 85° ف ، ومياه البحيرات والبرك والخزانات ، تخضع أيضاً لتغيرات فصلية وتكون هذه التغيرات كبيرة وخصوصاً في المياه الضحلة .

مياه البحر : Sea Waters

في المواضع التي تتيسر فيها مياه البحر ، تعتمد الكمية التي يمكن الحصول عليها على المآخذ ، وخطوط الأنابيب ، والمضخات . ولذلك ، فهي تستخدم آنياً ، ثم تهدر . وقد تكون الاختلافات السنوية لدرجات الحرارة كبيرة جداً في مختلف المواضع ، إذ تتراوح من 11° ف إلى أكثر بقليل من 50° ف . وتتأثر درجة الحرارة بموقع المأخذ وعمقه ، وما إذا كان في خليج ، أو مواجهاً للتيارات المحيطية الحرة ، إلخ . وقد تنخفض الدرجات الدنيا للحرارة شتاء إلى ما دون تجمد المياه العذبة بمقدار 2° ف ، وقد تتجاوز الدرجات القصوى صيفاً 80° ف .

القشرة والرواسب في شبكات التبريد

Scale and Deposits in Cooling systems

قد تفسدّ شبكات التبريد بـ :

(1) القشرة ، و(2) رواسب التآكل ، و (3) العكر و (4) الناميات العضوية .

1. القشرة Scale :

المادة الرئيسية التي تشكل القشرة في شبكات التبريد ، هي كربونات الكلسيوم ، المتشكلة من تحلل بيكربونات الكلسيوم إلى كربونات كلسيوم ، وثاني أكسيد الكربون ،

وماء كما يظهر في التفاعل التالي :

$$Ca\,(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_2 + CO_3 + H_2\,O$$

في المياه الخالية من ثاني أكسيد الكربون ، تكون ذوبانية كربونات الكلسيوم قليلة جداً ، حوالي 15 ppm بدرجة 32 ف ، وحوالي 13 ppm بدرجة 212° ف أو أقل من غ / جالون . وفي المياه المشبعة عند الضغط الجوي بثاني أكسيد الكربون عند درجة 32° ف سوف ينحل 1620 ppm (94,5 غ / جالون) من $CaCO_3$ ، وتتشكل بيكربونات الكلسيوم . وإذا غليت هذه المياه لمدة كافية فسوف تتحلل بيكربونات الكلسيوم إلى كربونات كلسيوم ، ويُطرد ثاني أكسيد الكربون بالكامل ، وبما أن ذوبانية كربونات الكلسيوم هي فقط 13 ppm بدرجة 212 ف ، فإن كمية كربونات الكلسيوم المترسبة ستكون 1620 − 13 = 1607 ppm (93.7 غ / جالون) ، وهي تكافئ 6.7 طناً من القشرة والعكارة في كل مليون جالوناً . ولكن مياه التبريد لا تشبع بثاني أكسيد الكربون ، ولا تحتوي على 1620 ppm من قلوية الكلسيوم ، ولا تسخن إلى درجة الغليان . إن عدداً كبيراً من مياه التبريد يحمل من قلوية الكلسيوم من أكثر من ربع الرقم الأقصى 1620 ppm ، وأكثرها من هذه القلويات أقل من 300 ppm . ولكن كميات القشرة ، التي يمكن لهذه المياه أن تشكلها في شبكات التبريد ، كبيرة جداً ، ومزعجة جداً ، رغم أنها ، ولحسن الحظ ، لا تصل أبداً أكثر من جزء من هذه الـ 6.7 طناً في كل مليون جالوناً . ومع أي محتوى محدد من ثاني أكسيد الكربون الطليق هناك توازن عند كل درجة حرارية ، الأمر الذي يثبت الكمية القصوى من بيكربونات الكلسيوم ، التي يمكن أن تبقى على شكل محلول . ورفع درجة الحرارة ينقص الذوبانية القصوى ، ويتقدم التفاعل السابق نحو الأفضل وصولاً إلى التوازن بالنسبة لدرجة الحرارة الجديدة . يتضح من هذا ، أن رفع درجة الحرارة ولو قليلاً ، قد يكون كافياً لتشكل القشرة مع مياه معينة ، إذا كان محتواها من بيكربونات الكلسيوم عالياً ، ومنخفضاً من ثاني أكسيد الكربون .

الجدول 1 . 9 : ذؤوبيات بيكربونات وكربونات وكلوريدات وكبريتات الكالسيوم والمغنزيوم

Name	Formula	(ppm of $CaCO_3$)		(gpg of $CaCO_3$)	
		at 32°F	at 212°F	at 32°F	at 212°F
Calcium bicarbonate	$Ca(HCO_3)_2$	1620	decomp.	94.5	decomp.
Calcium carbonate	$CaCO_3$	15	13	0.9	0.8
Calcium chloride	$CaCl_2$	336000	554000	19600	32300
Calcium sulfate	$CaSO_4$	1290	1250	75.3	72.9
Magnesium bicarbonate	$Mg(HCO_3)_2$	37100	decomp.	2170	decomp.
Magnesium carbonate	$MgCO_3$	101	75	5.9	4.4
Magnesium chloride	$MgCl_2$	362000	443000	21100	25900
Magnesium sulfate	$MgSO_4$	170000	356000	9920	20800

ملاحظة ، في المناخات المدارية ، وشبه المدارية ، تظهر القشرة في أنابيب الماء البارد . فقد شوهدت ، قطعة من أنبوب للماء البارد بقطر 4إنشاً ، كانت مسدودة إلى قطر فعال مقداره2 إنشاً تقريباً ، بقشرة من كربونات الكلسيوم . كان مصدر الماء في هذه الحالة ، ينابيع جيرية كلسية في الجبال ، وكان ارتفاع درجة الحرارة عند الجريان خلال الأنابيب الرئيسية كافياً للتسبب في تشكيل هذه القشرة الثقيلة .

يتميز دليل لانغلييه Langelier Index (أو دليل الإشباع بكربونات الكلسيوم) بأهمية في التنبؤ بميول مياه التبريد لتشكل القشرة . ولحساب الدليل ، من الضروري أن يكون لدينا (1) قلوية برتقالي المثيل ، و (2) عسرة الكلسيوم ، و(3) إجمالي الجوامد (بشكل تقريبي) ، و (4) قيمة الـ PH ، و (5) درجة الحرارة التي سوف يرجع إليها الماء . ومن هذه المعطيات ومع استخدام المعادلات في الجدول 2 – 9 يمكن حساب الدليل والتنبؤ بميول مياه التبريد . و قد تم حساب وتنظيم هذا الجدول لكي يستخدمه ميدانياً غير التقنيين ، وسوف يجدونه بسيطاً ، وسريعاً ، ودقيقاً بما يكفي لجميع الأغراض العملية . وفي إجراء هذه الحسابات ، أخذنا بعين الاعتبار تعديلات لارسون Larson وباسويل Baswell على درجات الحرارة الثمالية . وقد أكملنا الأرقام إلى أجزاء من عشرة ، لأنها أكثر دقة مما هو لازم لأغراض التبريد .

الجدول 2 . 9 معلومات لإجراء حسابات دليل لا نغلييه بسرعة

(دليل الإشباع بكربونات الكالسيوم) .

A

Total Solids (ppm)	*A*
50– 300	0.1
400–1000	0.2

B

Temperature (°F)	*B*
32– 34	2.6
36– 42	2.5
44– 48	2.4
50– 56	2.3
58– 62	2.2
64– 70	2.1
72– 80	2.0
82– 88	1.9
90– 98	1.8
100–110	1.7
112–122	1.6
124–132	1.5
134–146	1.4
148–160	1.3
162–178	1.2

C

Calcium Hardness (ppm of $CaCO_3$)	*C*
10– 11	0.6
12– 13	0.7
14– 17	0.8
18– 22	0.9
23– 27	1.0
28– 34	1.1
35– 43	1.2
44– 55	1.3
56– 69	1.4
70– 87	1.5
88– 110	1.6
111– 138	1.7
139– 174	1.8
175– 220	1.9
230– 270	2.0
280– 340	2.1
350– 430	2.2
440– 550	2.3
560– 690	2.4
700– 870	2.5
880–1000	2.6

D

M. O. Alkalinity (ppm of $CaCO_3$)	*D*
10– 11	1.0
12– 13	1.1
14– 17	1.2
18– 22	1.3
23– 27	1.4
28– 35	1.5
36– 44	1.6
45– 55	1.7
56– 69	1.8
70– 88	1.9
89– 110	2.0
111– 139	2.1
140– 176	2.2
177– 220	2.3
230– 270	2.4
280– 350	2.5
360– 440	2.6
450– 550	2.7
560– 690	2.8
700– 880	2.9
890–1000	3.0

(1) Obtain values of *A*, *B*, *C* and *D* from above table.
(2) $pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$.
(3) Saturation index $= pH - pH_s$.
If index is 0, water is in chemical balance.
If index is a plus quantity, scale-forming tendencies are indicated.
If index is a minus quantity, corrosive tendencies are indicated.

عند استخدام الدليل ، يجب أن يتوفر شيء من الفطرة السليمة والخبرة العملية ، لأن الأدلة المحسوبة ليست كافية ، وبما أن مياه التبريد تجري بسرعة في شبكة التبريد ، فلا يمكن الوثوق بإمكانية التوصل إلى توازنات محسوبة ، حتى لو حسبت بدقة المماحكة . إن ما نقوم به ، في التطبيق العملي ، هو استخدام الدليل كقاعدة في حساب المعالجة المطلوبة . وبعدئذٍ ، توضع امتدادات الأنبوب أو الملحقات المعدنية القابلة للنقل في نقاط استراتيجية ، ثم تجري مراقبة النتائج . فإذا كان تشكل القشرة شديداً جداً ، قمنا بتعديل المعالجة لإعطاء دليل أعلى حد ما .

إن ذوبانية كربونات المغنيزيوم في الماء الخالي من ثاني أكسيد الكربون تقارب 100 ppm معبراً عنها كـ $CaCO_3$ بدرجة 32 ف ، وحوالي 75 ppm بدرجة 212

ف . وبما أن ذوبانيتها تصل تقريباً إلى خمسة أو ستة أضعاف ذوبانية كربونات الكلسيوم ، وبما أن محتوى المغنيزيوم في المياه الطبيعية أقل بكثير من محتوى الكلسيوم (تشكل عسرة الكلسيوم حوالي $^2/_3$ ، وعسرة المغنيزيوم $^1/_3$ إجمالي العسرة ، كرقم متوسط) ، فمن الواضح أن المغنيزيوم يلعب دوراً ثانوياً جداً في تشكيل القشرة في شبكات التبريد الآني . قد تترسب كمية بسيطة منه مع الكلسيوم ، وقد يؤدي تركيز قلوية المغنيزيوم في شبكات الدوران إلى محتويات تتجاوز ذوبانية الكربونات .

ملاحظة :

في القيم المرتفعة الـPH ، يمكن طبعاً أن يترسب هيدروكسيد المغنيزيوم ، لأن ذوبانيته تصل فقط إلى حوالي 17 ppm ، بدرجة 32 ف ، و 8 ppm ، بدرجة 212 ف . وفي المراجل البخارية ، حيث تكون درجات الحرارة أعلى مما هي عليه في شبكات التبريد ، تتفكك بيكربونات المغنيزيوم ، وتتحلمأ ، وتترسب على شكل $Mg(OH)_2$.

وبيكربونات المغنيزيوم ذوابة أكثر بكثير من بيكربونات الكلسيوم . ففي درجة 32ف ، وفي ماء مشبع ، عند الضغط الجوي ، بثاني أكسيد الكربون ، تزيد ذوبانيتها عن ذوبانية كربونات الكلسيوم ب 20 ضعفاً . وحتى التراكيز البسيطة نسبياً من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، سوف تحتجز كميات من بيكربونات المغنيزيوم ، على شكل محلول ، هي أكبر بكثير من كميات بيكربونات الكلسيوم .

تصل ذوبانية كبريتات الكلسيوم إلى حوالي 1290 ppm ، بدرجة °32 ف ، و إلى 1540 ppm ، بدرجة 110 ف ، وعلى 1250 ppm ، بدرجة 212 ف (75 ، و 90 ، و73 غ / جالون تقريباً) ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$.

إن كبريتات الكلسيوم لا تشكل قشرة في المياه الطبيعية ، في الشبكة الآنية . وعند إعادة مياه التبريد إلى الدوران ، يجب الانتباه إلى ضرورة "تصريف" الماء ، بما يكفي لإبقاء تركيز كبريتات الكلسيوم أقل بكثير من 1200 ppm (70 غ / جالون) ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$ ، للحيلولة دون تشكل قشرة صلبة من الكبريتات في شبكة التبريد . ويصح هذا خصوصاً بالنسبة للمياه الدّواره المعالجة بالحمض .

إن كافة أملاح الصوديوم ، وكلور الكلسيوم والمغنزيوم ، وكبريتات المغنزيوم ، ذوابة جداً في الماء ، وتتراوح ذوبانيتها من 60000 إلى أكثر من 500.000 ppm (

3500 – 29000 غ / جالون) ، وهي لا تشكل قشرة ، ما لم تصل التراكيز إلى أقصى المديات .

2 . رواسب التآكل Corrosion Deposits :

إن أكثر الأشكال شيوعاً للتآكل في أوعية معدن الحديد ، هو التآكل الذي يحدثه الأكسجين المنحل ، الموجود في الهواء . ويتسرع هذا التآكل جداً ، إذا كانت القيم منخفضة للـPH ، وهكذا يكون الهجوم في المياه ذات القلوية المنخفضة والمحتوى المنخفض من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، أسرع بكثير مما يكون عليه في حالة المياه ذات القلوية العالية والمحتوى المنخفض من ثاني أكسيد الكربون أو الخالية منه .

ملاحظة : في حالة المياه المحمضة فعلاً بحمض معدني ، كحمض الكبريت ، ينحل المعدن ، ويجرف ، بحيث لا تتشكل رواسب التآكل . ومن الواضح أنه يجب معادلة هذه المياه قبل استعمالها .

يتسرع هذا الهجوم مع ارتفاع درجة الحرارة ، بحيث أن الماء الذي قد يمارس هجوماً ، ولو خفيفاً نسبياً ، في خطوط المياه الباردة ، يمكن أن يهاجم بشدة معدن شبكة التبريد . ويؤدي هذا الهجوم عادة إلى تشكل الدرنات ، التي تبرز فوق كل شبكة في المعدن ، والتي تخفف إلى حد كبير من معدلات الجريان المتيسرة عبر معدات التبريد ، إضافة إلى مقاومة مقابلة لمرور الحرارة إلى ماء التبريد .

وهناك شكل آخر من التآكل ، هو ذلك الذي تمارسه المياه الكبريتية ، وما ينتج عنه من تشكل السلفيدات بواسطة التهوية ، يجعل الماء أكّالاً أكثر . ولذلك تفضل معالجة المياه الكبريتية بالكلور قبل التهوية ، وذلك لضمان اكتمال تأكسد السلفيدات . إن رواسب السلفيدات سوداء عادة ولصوقة ، لكنها تتقشر ، وتسد الصمامات والمسالك الضيقة .

3 . العكر Sediment :

إن المياه التي تحتوي على عكر خشن ، أو غروانيات شبه معلقة ، غير مرغوب فيها في أكثر شبكات التبريد ، ولكن هناك استثناء واحد ، على الأقل ، تجدر ملاحظته ، هي المكثفات السطحية للبخار ، التي تزود بأنابيب مستقيمة ، ضيقة القطر ،

فتستخدم فيها ، على نحو شائع ، بعض المياه الطينية من الأنهار دون معالجة ، وفي ظل هذه الشروط ، تصقل السطوح الداخلية للأنابيب ، على نحو لامع عادة ، بفعل الحكّ ، الذي تمارسه المادة المعلقة ، عند السرعات العالية نسبياً للجريان المستخدم . وفي شبكات أخرى للتبريد ، تكون المياه العكرة مزعجة جداً ، وتشكل رواسب سادّة .

4 . الناميات العضوية Organic Growths :

تعرف بكتيريا الحديد والمنغنيز جملة ، تحت الاسم الشائع "كرينودريكس Crenothrix " ، وقد تصبح مزعجة جداً في مياه التبريد ، التي تحتوي على الحديد و/ أو المنغنيز ، لأنها تشكل كتلاً وافرة ، تسبب في إبطاء معدلات الجريان ، وكثيراً ما تتفكك هذه الكتل ، وقد تسد المسالك بشكل كامل . قد تصبح الناميات الطحلبية شديدة الإزعاج في أبراج وبرك التبريد . وقد تسبب الناميات الفطرية انحلال لغنين الخشب في مياه التبريد . وتنمو بكتيريا الكبريت بغزارة في أجهزة التهوية والبرك التي تعالج فيها المياه الكبريتية .

وهناك متعضيات أخرى سادَّة نجدها في شبكات التبريد ، كالأعشاب ، والإسفنج ، و" طحلب الأنابيب" ، والحيوانات الطحلبية ، والرخويات ، والمواد الغروية . تشكل بعض المتعضيات رواسب متراصة ، تبدو لأول وهلة كقشرة صلبة غير عضوية . وفي أنابيب المياه البحرية ، وإضافة إلى الغروية ، والحيوانات الطحلبية ، والاسفنجيات إلخ ، فإن القشريات ، مثل بلح البحر ، والبرنقيل ، والمحار تكون مزعجة على نحو خاص .

مواصفات مياه التبريد : *Cooling Water Specification*

تختلف مواصفات مياه التبريد إلى حد كبير جداً ، تبعاً لاختلاف أصناف المياه المستخدمة في مختلف الاستخدامات الصناعية ، إلى حد يمكن معه فقط تحديد مواصفات عامة ، كأن لا تشكل المياه قشوراً عازلة للحرارة ، أو رواسب أخرى سادّة عضوية أو لا عضوية ، و أن لا تكون أكالة جداً في ظل ظروف خاصة للاستخدام أو

إعادة الاستخدام . وهناك مواصفات عامة أربعة ، تقوم على أساس ظروف الاستخدام هي :

1 . الدورة الآنية ثم الهدر :

تستخدم هذه الطريقة ، على نطاق واسع ، حيثما يتوفر مورد مائي غزير . وقد تستمد هذه المياه من آبار عميقة ، أو من مصدر سطحي ، كنهر كبير ، أو بحيرة ، أو بركة ، أو خزان ، أو من مياه البحر عند مواضع المد . وعلى أية حال وبما أن المياه سوف تستخدم مرة ثم تؤول إلى الهدر ، فإن المعالجة ، إذا لزمت يجب أن تكون غير مكلفة .

2 . دورة التبريد الآنية ثم استخدامها لأغراض أخرى :

في هذه الحالات ، لا بد لنا من أن نوضح بجلاء ، أن المعالجة المستخدمة ، يجب أن تكون معالجة تجعل الماء صالحاً ، ليس لأغراض التبريد فقط ، ولكن أيضاً من أجل استخدامات لاحقة . وتختلف الاستخدامات اللاحقة هذه مع اختلاف الصناعات . ففي بعض هذه الصناعات ، وحيثما تكون التوازنات الحرارية مواتية ، وحيثما تستخدم كميات كبيرة من بخار المعالجة ، فقد يكون الاستخدام اللاحق من أجل تعويض مياه تغذية المراجل . وفي بعض الصناعات أيضاً ، تستخدم مياه التبريد أولاً في دورة تبريد ، حيث نحتاج إلى الماء بدرجة حرارة منخفضة ، ثم نحتاجه للتبريد مرة أو أكثر بدرجات حرارة مرتفعة على التوالي ، قبل الاستخدام النهائي له في المراجل أو لمياه المعالجة . إن هذه الدورات لا تؤدي فقط إلى استخدام فعال جداً للماء ، بل إنها تحدث وفراً جوهرياً في الوحدات الحرارية ، وبالتالي توفيراً في الوقود .

3 . دورة التبريد المكشوفة الدوارة :

إن من أكثر دورات التبريد شيوعاً ، هي تلك التي يدور فيها ماء التبريد عبر شبكة التبريد ، ويجري تبريده بواسطة برج للتبريد أو بركة رشّ ، ليعود بعدئذ إلى الدوران . نظرياً ، يتبخر حوالي 1 % من الماء لكل 10° ف من التبريد ، الذي يحدث في برج التبريد أو بركة الرش . عملياً ، تكون الخسارات أكبر طبعاً ، بسبب " الدفع " (

الماء المفقود كرذاذ) ، والتي قد تصل إلى أقل من 0.3 % مع السحب المستحث أو أبراج السحب القسري ، وإلى ما تحت 1 % في الأبراج السطحية . قد تتراوح الخسارات في أبراج الرش من 1 إلى أكثر من 3 % ، وفي برك الرش من 2 إلى أكثر من 5 % . وهناك خسارة أخرى ، تحدث بسبب تصريف الماء المعاد تدويره ، لمنع الجوامد المنحلة من التركيز إلى أبعد من حدود معينة .

في شبكات ماء التبريد الدائر هذه ، وبعد الانطلاق الأولي ، من الواضح أن الماء الذي يحتاج إلى معالجة ، هو ماء التعويض فقط ، ويكون هذا عادة أقل من 10 % من الماء الدائر . ومن الواضح أيضاً أنه ينبغي للمعالجة اللازمة أن تقوم ، ليس فقط على أساس تركيب الماء الخام ، ولكن أيضاً على أساس ما يجب أن يكون عليه تركيب الماء المعالج ، بعد أن يكون قد تركز نتيجة لإعادة استخدامه .

4 . شبكة التبريد الدورانية المغلقة :

تستخدم هذه الشبكات لتبريد نمط الديزل وغيره من الأنماط الأخرى من المحركات ذات الاحتراق الداخلي ، ولمختلف أغراض التبريد . وفيها تمر مياه التبريد ، بعد استخدامها ، عبر مبادل حراري مبرّد بالماء أو بالهواء . لا نحتاج ، من الناحية النظرية إلى إضافة معوضة ، لكننا في التطبيق العملي ، نحتاج عادة إلى كمية بسيطة منها . ويتوجب طبعاً معالجة المياه الدائرة من أجل الانطلاق الأولي وكذلك مياه التعويض ، التي يحتاجها ، مهما كانت قليلة .

معالجات مياه التبريد : Cooling Water Treatments

يمكن معالجة مياه التبريد بواحد أو اكثر من الطرق العشرة التالية :

1 . التخثير ، و/أو الترسيب ، و/أو الترشيح :

يمكن إزالة العكارة بالتخثير, والترسيب ، والترشيح . ويمكن الجمع بين أكثر من طريقة ، كما سنرى في الفصل 13 . فالترسيب مثلاً ، قد يسبق التخثير ، أو على

العكس من ذلك ، يمكن استخدام دثار العكارة من معدات الترسيب والاستفادة عن المرشحات ، إذا كان وجود قليل من العكارة لا يثير الاعتراض .

يمكن استخدام التخثير ، والترسيب ، والترشيح بصورة منفردة أو قبل المعالجة الحمضية أو المعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم . وفي طريقة الكلس البارد ، أو طريقة الكلس بتبادل كاتيونات الصوديوم ، يمكن إزالة العكارة إضافة إلى تخفيف القلوية في جهاز التيسير بالكلس البارد . وتتألف السلسلة العادية من المعدات في المنشأ التخثير ، والترسيب ، والترشيح من (1) حوض للترسيب ، و(2) جهاز للتغذية بالمادة المخثرة (يضاف إلى ذلك إذا أمكن جهاز للتغذية بمادة قلوية ، و/ أو جهاز للتغذية بالطين) ، و (3) مرشحات . وقد نحتاج إضافة إلى ذلك ، إلى عامل تعقيم ، مثل الهيبوكلوريت (الذي يمكن تغذيته بالكلس بأجهزة التغذية بالكلس المعلق). أو الكلور السائل (الذي يمكن تلقيه من جهاز المعالجة بالكلور) .

2 . طريقة الكلس البارد :

تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في شبكات التبريد الدورانية ، لكن نادراً ما تستخدم في دورة تبريد آنية وإلى الهدر . و المواد الكيميائية التي تستخدم عادة ، هي الكلس لتخفيف عسرة البيكربونات ، وجرعة صغيرة من الشب كمادة مخثرة ، كثيراً ما تستخدم بعدها جرعة صغيرة من حمض الكبريت ، لتعديل قلوية الصبيب بالمقدار المطلوب . أما رماد الصودا فلا يستخدم عادة ، لأن تخفيف عسرة اللابيكربونات (أو الكبريتات) ، تشكل نفقة غير ضرورية في الشبكة الدورانية . قد يكون تخفيف عسرة اللابيكربونات ضرورياً في الشبكة الآنية والاستخدام لأغراض أخرى ، وهي حالة ، يمكن فيها استخدام رماد الصودا ، أو طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

وفي الأنماط القديمة من معدات التيسير بالكلس البارد ، تستخدم المرشحات بشكل ثابت تقريباً . ويستغنى عنها غالباً ، عندما يستخدم نمط دثار العكارة من معدات التيسير . وفي هذه الحالة ، تتألف سلسلة المعدات عادة من :

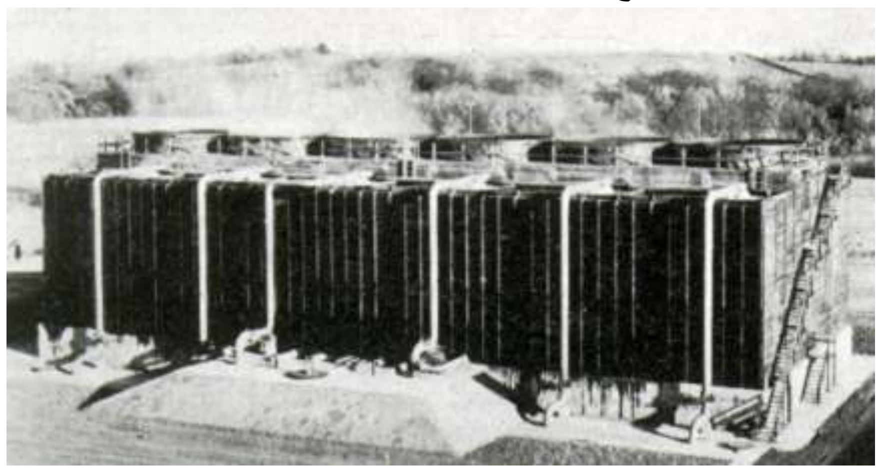
(1) جهاز تيسير الماء بالكلس البارد من نمط دثار العكارة ، و(2) جهاز للتغذية بالكلس ، (3) جهاز للتغذية بالشب ، و(4) جهاز للتغذية بالحمض .

إذا احتوى الماء على الحديد أو المنغنيز ، أو إذا كان محتواه من ثاني أكسيد الكربون عالياً ، فإن جهاز التهوية قد يسبق جهاز التيسير ، لأنه كثيراً ما يركب فوقه (انظر الفصل 18) .

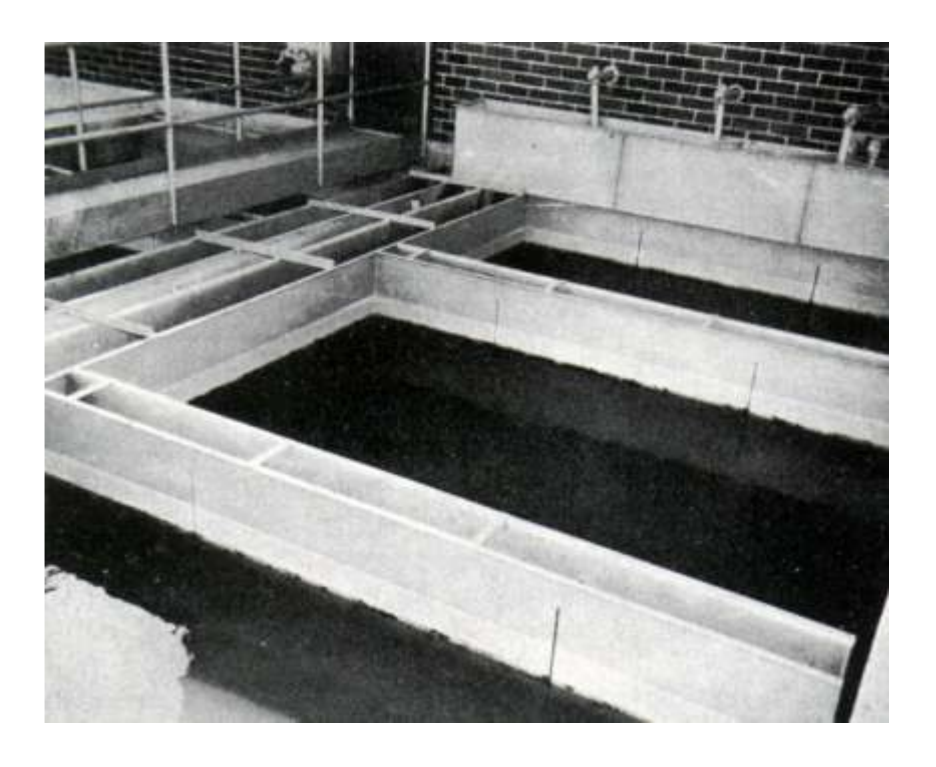
3 . طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم :

كثير ما تستخدم هذه الطريقة في الشبكة الآنية والاستخدام لأغراض أخرى ، وفي الشبكات الدورانية ، لكنها لا تستخدم في الشبكة الآنية وإلى الهدر . وهي تستخدم ، على نطاق واسع جداً ، لتأمين مياه التبريد لمحركات الديزل أو البنزين في وحدات توليد الطاقة ، ومحطات الضخ والضغط ، إضافة لاستخدامها في صناعات أخرى .

إضافة إلى كونه يزيل العسرة تماماً ، وعلى نحو مميز ، فإن جهاز التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم ، يتميز بإحكامه ، وبالبساطة الزائدة في التشغيل . إن أملاح الصوديوم ، التي تتشكل بالتبادل مع كاتيونات الكلسيوم والمغنزيوم ، تكون شديدة الانحلال في الماء ، بحيث لا يقوم التصريف ، بخلاف المعالجة الحمضية ، على أساس محتوى الكبريتات ، ويمكن بلوغ تراكيز أعلى ، الأمر الذي يعني هدر كميات أقل من الماء المعالج .



الصورتان 2 . 9 و 3 . 9 . إن مياه التعويض التي تستخدم في أبراج التبريد أعلاه في وحدة لتوليد الطاقة ، هي مياه سطحية كدرة ، يجري تيسيرها بالكلس ، ثم تخثر ، وترسب في جهاز للترسيب (وحدة تلامس الجوامد المعلقة) يظهر أدناه الطاقة 63.000 جالون / سا .



وفي حالة معالجة مياه الآبار العميقة ، والنقية ، وغير المهوّاة ، التي تحتوي على الحديد أو المنغنيز ، فإن جهاز التيسير سوف يزيلهما ، إضافة لإزالة العسرة . وفي حالة المياه السطحية العكارة ، ينبغي أن يسبق جهاز التيسير بعمليات التخثير ، والترسيب ، والترشيح (انظر الفصل 15) .

4 _ طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين :

يعالج الماء في هذه الطريقة بالكلس أولاً في جهاز للتيسير بالكلس البارد ، وبعدئذٍ يمر الصبيبِ المنقّى عبر جهاز التيسير بمبادل كاتيونات الصوديوم . تتميز هذه الطريقة في إنتاجها لماء ميسر كلياً ، ذي قلوية منخفضة ، وجوامد إجمالية أقل مما لو جرى تيسيرها بالطريقة المباشرة لتبادل كاتيونات الصوديوم .

من الواضح أن هذه الطريقة قابلة للتطبيق على دورة التبريد الآنية والاستخدام لأغراض أخرى ، حيث تكون المياه الميسرة تماماً ، ذات المحتوى المنخفض من القلوية وإجمالي الجوامد ، مرغوباً فيها . وهي قلما تستخدم في الشبكة الدورانية ، كما أنها مكلفة جداً لدورة التبريد الآنية ثم إلى الهدر . وتتألف سلسلة المعدات ، التي تستخدم عادة لإنجاز هذه العملية من (1) جهاز تيسير الماء بالكلس البارد ، (2) جهاز للتغذية بالكلس ، (3) جهاز للتغذية بمادة مخثرة ، (4) جهاز للتغذية بالحمض أو لأداة الكربنة ، (5) مرشحات ، (6) جهاز تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم .

5 . نزع المعادن :

تستخدم طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات فقط في شبكات الدوران المغلقة ، حيث تدعو الحاجة إلى مياه تبريد من نوعية ممتازة جداً . وتستخدم لمياه التبريد من أجل بعض المعالجات الكيميائية ، ولمياه التبريد في مراجل الضغط فوق الحرج ، وإلى مدى محدود لتبريد محركات الديزل ، ولتبريد المعدات المستخدمة في بعض أعمال البحث ، إلخ . ويمكن أن يكون جهاز نزع المعادن واحداً من عدة نماذج . والنموذج الذي يستخدم على نطاق واسع ، هو الجهاز من النموذج A ويتألف من (1) وحدة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، و (2) نازع الغاز أو النازع الخوائي للهواء ، و (3) وحدة أو وحدات تبادل الأنيونات القاعدية المركزة . ويمكن الاستغناء عن(2) ، إذا كان محتوى الماء من البيكربونات قليلاً أو إذا كانت كميات الماء التي تعالج قليلة نسبياً . ويمكن أيضاً استخدام الوحدات الطبقية bed units المختلفة ، أو واحداً من الأجهزة الأخرى (انظر الفصل 17) .

6 . المعالجة الحمضية :

حمض الكبريت هو الحمض الذي يستخدم تقريباً في هذه المعالجة . واقترح أيضاً استخدام حمض كلور الماء على نطاق محدود لأن معدل كلفته على أساس مكافئ تبلغ أربعة أضعاف كلفة حمض الكبريت .

تقوم المعالجة الحمضية على أساس أن كبريتات المغنيزيوم أكثر ذوبانية بكثير من كربونات الكلسيوم وكربونات المغنيزيوم . تبلغ ذوبانية كربونات الكلسيوم ، التي هي المشكّل الرئيسي للقشرة التبريد ، فقط 15-30 ppm (أقل من 1غ / جالون) ، بدرجة 32 – 212 ف ، وكبريتات الكلسيوم لا أقل من 1250 ppm (73 غ / جالون) معبراً عنها $CaCO_3$ ، في المدى نفسه لدرجات الحرارة . ومع أن ذوبانية كربونات المغنزيوم تبلغ 75-100 ppm (5.8 – 4.4 غ / جالون) ، وهيدروكسيد المغنيزيوم 8 - 17 ppm (1– 0.5 غ / جالون) ، فإن ذوبانية كبريتات المغنيزيوم تبلغ 35600 - 170000 ppm (9900 – 20800 غ / جالون) ، خلال المدى نفسه ، ويعبر عن كل النتائج بـ $CaCO_3$.

ولذلك إذا بدلت البيكربونات في شبكة التبريد الدورانية إلى كبريتات عن طريق إضافة حمض الكبريت ، فسوف لن تتشكل قشرة ، إذا كان التصريف المطبق كافياً لإبقاء تركيز كبريتات الكلسيوم أقل من 1250 ppm (73 غ / جالون) . وفي التطبيق العملي ، لا تجري طبعاً معادلة كامل القلوية بالحمض . بل يحافظ على كمية بسيطة من قلوية الكلسيوم ، بحيث تتشكل قشرة رقيقة جداً من كربونات الكلسيوم لتثبيط التآكل .

المعالجة السابقة ، هي من أجل الشبكة الدورانية . ولكن إذا كان التبريد سيجري لدورة واحدة ثم إلى الهدر ، فسوف لن نحتاج إلا لكمية صغيرة جداً من الحمض ، لأن المعالجة تنجز تحت الضغط ، وبالتالي تستبقى قدرة مذيب ثاني أكسيد الكربون ، التي تتحرر بتأثير الحمض على البيكربونات ، بدلاً من ثاني أكسيد الكربون الذي يفقد إلى الجو ، كما يحدث في شبكة دورانية .

في الشبكات الدورانية ، التي تعتمد على تركيب الماء ، قد تكون المعالجة بحمض الكبريت أقل أو أعلى كلفة من المعالجة بالكلس . فهي أعلى كلفة مع المياه ذات المحتوى العالي من البيكربونات ، لأن التصريف يكون كبيراً جداً مع هذا النوع من المياه ، وذلك لمنع تشكّل قشرة الكلسيوم .

7 . إزالة الحديد والمنغنيز :

إذا كانت المياه من آبار عميقة ، ونقية ، وغير مهّواة ، فإنه يمكن إزالة أي محتوى للحديد و/ أو المنغنيز ، في نفس الوقت ، مع العسرة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم . وفي طريقة الكلس البارد ، أو طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، يزال الحديد و/ أو المنغنيز ، في المرحلة الأولى ، عن طريق تهوية الماء قبل دخوله إلى معدات المعالجة بالكلس البارد . وإذا كان ما من شيء يستوجب الإزالة ، سوى الحديد و/ أو المنغنيز ، فإن كل ما نحتاجه من أجل المياه ، التي تحتوي بيكربونات الحديدي و/ أو البيكربونات المغنيزية ، هي التهوية ، إضافة إلى مادة قلوية لرفع قيمة الـ PH إلى درجة مناسبة ، والترويق ، والترشيح . ومع المياه التي تحتوي على حديد و/ أو منغنيز عضوي (مستخلب) ، نحتاج إلى التخثير ، والترويق ، والترشيح (انظر الفصل 14) .

8 . التهوية :

تستخدم التهوية ، كما ذكرنا آنفاً ، لإزالة الحديد و/ أو المنغنيز الموجود على شكل بيكربونات مكافئة لهذين المعدنين . ويمكن أيضاً تطبيق التهوية لتخفيف محتوى المياه الكبريتية من السلفيدات ، ولتخفيف المحتويات العالية من ثاني أكسيد الكربون الطليق (انظر الفصلين 3 و 11) .

9 . المعالجة بالكلور والمعالجة بكبريتات النحاس :

ويستخدم الكلور ، على نطاق واسع ، لتثبيط الناميات العضوية في شبكات التبريد . وتستخدم كبريتات النحاس ، على نطاق أضيق ، لتثبيط الناميات الطحلبية في برك وأحواض التبريد . وفي كثير من الحالات تستخدم كتلا المعالجتين ، و كما هو الحال دائماً ، إذ تستخدم كبريتات النحاس بصورة متقطعة ، والكلور بصورة ثابتة قليلاً أو كثيراً .

عند استخدام الكلور ، على شكل جرعات ثقيلة متقطعة ، في شبكات التبريد الدورانية ، فإنه يجب أن تغذى به مياه الدوران لا مياه التعويض ، لأنه في الحالة الأخيرة ، سوف لن تبقى ثمالات الكلور طويلاً في الدوران . وتفيد في بعض الحالات تغذية الكلور في أكثر من موضع والمعالجة المسبقة به ، وكثيراً أيضاً ما تستخدم المعالجة القلوية به . قد نحتاج أحياناً فقط إلى المعالجة بالكلور ولكن في أكثر الأحوال ، تستخدم هذه المعالجة بالإضافة إلى معالجات أخرى . ففي تثبيط نماءات عضوية ، كالمحار مثلاً ، في شبكات التبريد بمياه البحر ، وجد أن أكثر الطرق فعالية ، هي معالجة هذه المياه بجرعات ثقيلة من الكلور ، تصل ثمالتها إلى 0.5 و 0.6 ، وأحياناً إلى 0.7 ppm ، ولفترات قصيرة جداً ولمرتين إلى أربع مرات يومياً ، وقد وصلت هذه الفترات ، في بعض الوحدات ، إلى ثلاث أو أربع مرات خلال 24 ساعة ، ومدة كل منها 15 – 20 دقيقة ، وفي وحدات أخرى استخدمت فترتان خلال 24 ساعة ، مدة كل منها ساعة واحدة .

سوف نأتي على وصف أجهزة التغذية بالكلور السائل في الفصل 12 . وكنا وصفنا التغذية بكبريتات النحاس وجرعاتها في الفصل 4 ومن الواضح ، أنه يمكن ، عند الضرورة ، استخدام جرعات أثقل في برك الرش وبرك التبريد ، لأن هذه المواضيع لا تحتوي على حياة سمكية تتوجب حمايتها من التسمم .

المعالجات بالبولي فوسفات : Poly Phosphates Treatments

تستخدم أحياناً الفوسفات المتعددة في الشبكات الآنية و إلى الهدر للوقاية من تشكيل القشرة . وهي ملائمة أكثر لمياه التبريد التي لا تكون قلويتها شديدة ، أو قيمة الـ PH فيها عالية جداً ، والتي لا تخضع إلى ارتفاع كبير في درجة الحرارة .

الفصل العاشر

التهوية

AERATION

تطبق تهوية الماء من أجل :

(1) التخفيف أو الإزالة الآلية للشوائب الغازية أو الطيارة ، مثل ثاني أكسيد الكربون ، أو كبريت الهيدروجين ، أو الروائح أو الميتان .

(2) الأكسدة الكيميائية لشوائب مثل : الحديد الثنائي التكافؤ Ferrous Iron أو المنجنيز الثنائي Manganous Manganese .

أولاً : إزالة الغازات Removal of Gases

1– ثاني أكسيد الكربون :

إن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في هواء الجو منخفض جداً ، إذ يوجد فقط بحدود 0,03 . 0,04 % في الأرض المكشوفة وبحدود تقل عادة عن 0.06 % في هواء المدن الكبيرة . ولذلك إذا جعلنا الماء المقطر ، أو المنزوع المعدنية ، أو الماء الحمضي في حالة توازن مع ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو كما يظهر في الجدول 2 . 3 في الفصل الثالث ، فسوف يتراوح تركيز ثاني أكسيد الكربون في الماء فقط من 0.3 - 2 ppm ، بدرجات الحرارة من ˚32 . ˚104ف . وإذا جعلنا الماء ، الذي يحتوي على قلوية البيكربونات في حالة توازن مع محتوى ثاني أكسيد الكربون في الجو فإن بعض البيكربونات سوف تتحول إلى كربونات فقد ينتج لدينا بعض من قلوية الفينول فثالين . وكما يظهر في الجدول 7 ـ 3 في الفصل الثالث ، فإن قلوية الفينول فثالين ، في درجة 80 ف وهواء يحتوي من 0,03 . 0,04 % من ثاني أكسيد الكربون ، تصبح ملحوظة عند احتواء الماء المهوّى على 25 ppm أو أكثر من قلوية البيكربونات وإذا احتوى الماء على 50 ppm أو أكثر من قلوية البيكربونات ، فإن 14% من البيكربونات سوف تتحول إلى كربونات ، ضمن الشروط المذكورة .

وإذا زاد محتوى الماء من بيكربونات الكلسيوم أيضاً عن 200 ppm ، فسوف يحدث ترسب ما من كربونات الكلسيوم .

قلما تحصل هذه التوازنات ، أو أنها لا تحصل أبداً في التطبيق العملي ، عندما تجري تهوية الماء في درجات الحرارة العادية ، لأن إجراء التهوية إلى درجة تكفي للوصول إلى التوازن ، غير اقتصادي ، وبدلاً من ذلك نحصل على درجة من التهوية ، تكفي عادة فقط لتخفيف محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق إلى كمية محددة ، وتتفاوت هذه الكمية في مختلف الحالات ، إذ تتراوح الكميات الثمالية المحددة عموماً من 5 - 15 ppm ، وفقاً لمحتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق في الماء المعالج ، وعلو جهاز التهوية أو نزع الغاز وكونه متيسراً أو اقتصادياً ، والغرض الذي من أجله نزع ثاني أكسيد الكربون ، إلخ . ومع تساوي كافة العوامل الأخرى لوحظ أن يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق الثمالي ، في صبيب جهاز نزع الغاز أو جهاز التهوية يكون عند تهوية الماء الذي يحتوي على كمية ملحوظة من قلوية البيكربونات أقل مما يكون عليه عند تهوية الماء الحمضي أو المنزوع المعدنية . وينجم هذا فيما يبدو ، عن تزامن التحلل الجزئي للبيكربونات إلى كربونات ، والذي أتينا على ذكره سابقاً . وقد نلاحظ أنه من الضروري عند تحليل المياه الحمضية من أجل محتواها من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، إجراء تصحيح بسبب ثاني أكسيد الكربون المنطلق من أي كربونات قد تكون موجودة في محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي المستخدم . يعتمد نموذج جهاز التهوية المستخدم على عدد من العوامل من بينها :

(1) محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق .

(2) درجة الإزالة اللازمة فيما يتعلق بنوع الاستخدام النهائي .

(3) وهل إزالة الحديد أو المنجنيز ضرورية أم لا ؟ .

(4) حجم الماء المتوجب معالجته .

فإذا كان محتوى ثاني أكسيد الكربون بسيطاً إلى حد ما ، يكفي أن يكون جهاز التهوية حوضاً من فحم الكوك ، أو حوضاً من الألواح الخشبية المتصلة ، أو عند عدم

اشتمال الإزالة على الحديد أو المنجنيز ، فقد يفي بالغرض جهاز التهوية من نموذج : الرش ، أو الدرجي ، أو اللوحي ، أو المخروطي المتحدر . وبالمقابل إذا كان المطلوب إزالة ثاني أكسيد الكربون بدرجة عالية ، أو إذا كان محتواه عالياً، عندئذٍ سوف يقدم أفضل النتائج جهاز تهوية أو جهاز مغلق لنزع الغاز من نموذج التهوية القسرية . أو إذا كانت ضمن هذه الشروط حجم المياه التي يجب معالجتها قليلة نسبياً ، فإنه يمكن استخدام صهريج لإزالة الكربنة بدلاً من جهاز التهوية أو نازع الغاز من نموذج التهوية القسرية . وإذا اشتملت الإزالة على الحديد أو المنجنيز ، فربما يمكن استخدام جهاز تهوية حوض الكوك ، أو جهاز تهوية حوضي من الألواح الخشبية .

2 . كبريت الهيدروجين :

إن إزالة كبريت الهيدروجين بالتهوية العادية كما درسناها في الفصل الثالث ، غير مرضية ما لم يكن محتواه قليلاً ، أو أن تكون المياه حمضية فعلاً بحمض معدني ولكن هذه الحالات نادرة جداً ، لا بل استثنائية جداً . إن أكثر المياه الكبريتية تحتوي على كميات ملحوظة من قلوية البيكربونات ، ويظهر عدد كبير منها فعلاً قلوية الفينول فثالين .

إن المياه الكبريتية حتى عندما تحتوي على كميات ملحوظة من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، نجد أن إزالة ثاني أكسيد الكربون أسرع من إزالة كبريت الهيدروجين . وثابت تشرد كبريت الهيدروجين هو بالنسبة للهيدروجين الأول : 9.1×10^{-8} بدرجة 18 مئوية وبالنسبة لثاني أكسيد الكربون (أو حمض الكربون) هو : 3×10^{-7} ، بدرجة الحرارة نفسها وبالنسبة للهيدروجين الثاني يكون ثابت تأين كبريت الهيدروجين $1,2 \times 10^{-15}$ ، بدرجة 18 مئوية ، ولثاني أكسيد الكربون 6×10^{-11} بدرجة 25 مئوية . ولكن انحلالية كبريت الهيدروجين في الماء تصل تقريباً إلى ثلاثة أضعاف ذوبانية ثاني أكسيد الكربون (انظر الجدولين 1 . 3 و 14- 3 في الفصل الثالث) ولذلك يكون التأثير الصافي ، هو أن ثاني أكسيد الكربون الطليق

يزال بسرعة في المراحل الأولى من التهوية العادية فترتفع بذلك قيمة الـ PH ، وتزداد بسرعة كمية الكبريت الكبريتي ، الموجودة على شكل HS^- أو S^{-2} ، وتنقص كمية الكبريت الكبريتي ، الموجودة على شكل كبريت هيدروجين H_2S قابل للإزالة . انظر الجدول 13. 3 في الفصل الثالث ، وانظر نتائج التهوية التجريبية المدرجة في الجدول 12 ـ 3 في الفصل نفسه . يضاف إلى هذا أن مياهاً كبريتية في موضع تكساسي ، احتوت على55 ppm من الكبريت وقلوية صوديوم عالية ، وقلوية متفاعلة إلى الفينول فثالين . وعند التهوية العادية لهذه المياه أزيل أقل من 10 % من الكبريت ، وكان الصبيب الناتج أكاّلاً جداً . لذلك لا يمكن في التهوية البسيطة للمياه الكبريتية القلوية أن نتوقع الكثير لمجرد زيادة ارتفاع الأحواض وعددها في جهاز التهوية .

تحتاج كل حالة إلى دراسة منفردة فإذا كان محتوى كبريت الهيدروجين قليلاً ، ويكمن للتهوية البسيطة أن تخففه إلى درجة تكفي ، بحيث يمكن أكسدة الثمالة بالمعالجة بالكلور بكلفة معقولة ، عندها يمكن أن تتألف المجموعة من جهاز تهوية من ألواح الخشب ، أو جهاز تهوية قسرية ، إضافة إلى حوض إيقاف وجهاز للمعالجة بالكلور . وإذا كانت التهوية العادية لا تزيل كمية كافية من كبريت الهيدروجين ، فيمكن إجراء الإزالة في وحدة للضغط الجوي ، يكون فيها الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون أعلى بكثير منه في الهواء الجوي إن وحدة ضغط جوي كهذه ، والتي يمكن تأمينها بكلفة رخيصة جداً في منشأة صناعية ، هي غاز المداخن ، الذي يتجاوز فيه تركيز ثاني أكسيد الكربون 12% ، وهو تركيز ضخم ، إذا ما قورن بتركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء العادي ، والذي يصل إلى 0,03 . 0,04 % .

ويفضل في التطبيق إجراء المعالجة في جهاز لنزع الغاز مؤلف من حجرتين :

في الحجرة العليا يدفع الغاز المغسول صعوداً على شكل تيار معاكس لوابل الماء النازل فوق سلسلة من الأحواض اللوحية المتراكبة ، ينصرف غاز المداخن إلى الجو بما يحمله من كبريت الهيدروجين من خلال فتحات في سقف الحجرة . فينتج عن

ذلك انحلال ثاني أكسيد الكربون في الماء ، وبذلك تنخفض قيمة الـ PH في الماء ، وتبقى منخفضة خلال كامل فترة مرور الماء عبر هذه الحجرة .

وفي الحجرة السفلية من جهاز نزع الغاز ، يزال ثاني أكسيد الكربون ، الذي يدخل مع غاز المداخن . ويمكن أن تكون هذه الحجرة جهاز تهوية يتألف من حوض لوحي مكشوف ، أو جهازاً مغلقاً لنزع الغاز ، أو جهازاً للتهوية بالتيارات القسرية ، يدفع خلاله تيار من الهواء وهنا تؤكسد ثمالة كبريت الهيدروجين مهما كانت طفيفة إلى كبريتات ، وذلك عن طريق المعالجة بالكلور . وفي التطبيق العملي ، أمكن الحصول على ثمالات مقدارها 0.3 ppm أو أقل . قد يكون التآكل شديداً جداً في الخط ، الذي يؤدي من المدخنة إلى جهاز الغسل ، بسبب وجود حمض الكبريت في غازات المداخن ، ولهذا السبب يفضل أن يكون الخط قصيراً ومقاوماً للحمض . مع ذلك فقد طبقت هذه الطريقة من المعالجة على عدد محدود جداً من المياه الكبريتية .

ومن الواضح ، أنه يمكن أيضاً خفض قيمة الـ PH في الماء عن طريق إضافة حمض معدني كحمض الكبريت . ويعتمد تقدير ما إذا كان هذا الإجراء مناسباً أم لا ، على قلوية الماء ، وعلى كميات وتكاليف جرعة الحمض اللازمة ، والغرض الذي سيستخدم الماء من أجله .

لقد تبين في بعض الحالات أن الأحياء الدقيقة ساعدت في إزالة كبريت الهيدروجين ، إلى الحد الذي احتاجت فيه أكسدة الثمالة فقط إلى معالجة تالية بسيطة بالكلور . ومن الواضح أن التأثير الجرثومي ، في الحالات المذكورة لم يكن كاملاً خلال الفترة القصيرة اللازمة لتساقط الماء فوق سلسلة الأحواض اللوحية ، لكنه استمر في أحواض الإيقاف الواسعة إلى حد ما ، أو في الخزانات تحت أجهزة التهوية . إن أكثر الأجهزة المستخدمة في التهوية البسيطة للمياه الكبريتية ، هي عبارة عن منحدرات أو مدرجات أو أحواض أو مخاريط متحدرة ، تبلغ مسافة التحدر فيها 3 ـ 5 قدماً فقط ، وبالتالي تكون غير فعالة تقريباً . وأفضل منها أجهزة التهوية من النموذج الحوضي اللوحي الخشبي ، ولكن كما ذكرنا سابقاً ، لا ضرورة لأن تكون هذه الأجهزة شديدة

الارتفاع . كثيراً ما تواجهنا الجراثيم الكبريتية بناميات خيطية ، تستلزم عادة تنظيفاً دورياً بخراطيم الماء . قلما تستخدم الأجهزة المعدنية للتهوية بسبب التأثير الأكاّل للمياه الكبريتية . تحدث بعض الأكسدة لمحتوى الكبريت بواسطة محتوى الأكسجين المنحل للهواء المستخدم ، لكنها أكسدة بطيئة ، كما ذكرنا في الفصل الثالث . وفي الأحواض الكبيرة ، بعد أجهزة التهوية ، تؤدي هذه الأكسدة إلى تشكل كبريت غرواني ، يتراكم بعضه مشكلاً جزئيات أكبر من الكبريت ، الذي قد يشكل على نحو بطيء ، رواسب في قيعان هذه الأحواض . إن معالجة محتوى الكبريت الثمالي بالكلور مهمة ، ويجب تطبيقها حيث لا يكون هذا المحتوى عالياً جداً، بحيث يجعل الكلفة كبيرة ، لأن الكميات الصغيرة من الكبريت تجعل الماء أكاّلاً جداً ، حتى عندما يكون بنسبة أقل من ppm 1 فقط . وبمقدار ما يتعلق الأمر بالرائحة ، يعتبر وجود ولو ppm 1 من كبريت الهيدروجين بغيضاً على نحو مميز ، ويمكن لأكثر أعضاء الشم أن تكتشف وجوده حتى و إن كان بمقدار نصف هذه الكمية . وكما رأينا في الفصل الثالث ، فإن كمية الكلور اللازمة لأكسدة الكبريتات في المياه الكبريتية ، تعتمد على قيمة الـ PH الماء ، وعلى كمية الكبريتات الموجودة في الجدول 16 ـ 3 في الفصل الثالث ، وعند قيم PH التي تراوحت من 3,2 . 10,1 ، تراوحت جرعة الكلور لكل ppm 1 من الكبريتات معبراً عنها بـ H_2S ، من 8.32 ppm عند قيم PH 6,4 أو أقل إلى 5 ppm عند قيم PH 9. 10,1 وبسبب هذا الاستهلاك الكبير من الكلور ، فإن المعالجة به تطبق عادة فقط لإزالة ثمالات الكبريتات القليلة إلى حد ما .

3 . الميتان :

إن المياه التي تحتوي على الميتان بكميات تكفي ، بشكل عارض لإشعال حريق وإحداث انفجار ، هي لحسن الحظ نادرة الوجود . ولكن حيثما وجدت هذه المياه ، فإنها دائماً يجب تهويتها . وتستخدم لهذا الغرض أجهزة تهوية من النموذج المكشوف ، ودوران جيد للهواء ، ويفضل كثيراً النموذج الحوضي المصنوع من الألواح الخشبية .

لا تستخدم النماذج المغلقة ذات التهوية القسرية ، ولا يجب أن تكون في الجوار أية محركات أو معدات كهربائية . كما يجب وضع التهوية في بقعة مكشوفة بعيد عن أخطار النار أو الشرر الذي قد يؤدي إلى انفجار خطير .

4 . الروائح :

بما أن الروائح الكريهة الموجودة في الماء هي روائح طيارة كثيراً أو قليلاً ، فإنه كثيراً ما تستخدم التهوية لتخفيفها أو لإزالتها . وبما أن هذه الروائح تؤثر على طعم الماء فإن تخفيفها أو إزالتها يحسن ذلك الطعم . تؤدي التهوية إلى إزالة المواد ذات الرائحة بشكل جزئي فقط ولذلك تصبح المعالجة بعدها بالكربون المنشط ضرورية غالباً . ولهذا الغرض يكون الكربون المنشط عادة على شكل مسحوق ، ولكن تستخدم أيضاً المرشحات الضغطية ، التي تستعمل فيها حبيبات من الكربون المنشط ، وبشكل خاص في عدد من الصناعات .

وعلى الرغم من استخدام عدة نماذج من أجهزة التهوية لإزالة الطعوم والروائح أو تخفيفها فإن نموذج الرش من هذه الأجهزة هو الأوسع انتشاراً . وعند استخدام هذا النموذج تركز المرشّات عادة فوق سطح حوض ، وتنتظم عموماً بحيث ترش الماء نحو الأعلى ليتساقط بعدئذٍ في الحوض . وينصح عادة بوضع المرشّات بعيداً عن حواف الحوض لتخفيف تأثير الانحراف بفعل الريح .

ثانيا . إزالة الحديد والمنجنيز : Removal of Iron and Manganese

آ – **الحديد :**

إن تهوية المياه التي تحتوي على الحديد ، هي تطبيق شائع لأن أكسدة الحديد الثنائي إلى هيدروكسيد الحديد الثلاثي ، يحول الحديد الذواب إلى مادة غير ذوابة ، يمكن إزالتها بالترسيب والترشيح .وفي معظم المياه التي تحتوي على قدر ملحوظ من قلوية البيكربونات ، تتحول بيكربونات الحديد الذوابة ، بسرعة كبيرة إلى هيدروكسيد الحديد ، وفقاً للمعادلة التالية:

$$2Fe(HCO_3)_2 + H_2O + 0.5\,O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

تؤثر قيمة PH الماء ، بدرجة كبيرة ، على سرعة التفاعل . ويبين الجدول 1 ـ 14 في الفصل 14 ، هذه السرعة بصورة جيدة لمختلف قيم الـ PH ويكفي أن نذكر هنا بأنه عندما تكون قيمة الـ PH = 7 أو أكثر يكون التفاعل سريعاً بما يكفي لاكتمال الأكسدة في حوض الإيقاف العادي . ومن الواضح أن المياه الحمضية ، تحتاج إلى التعادل ، و إلى زيادة المادة القلوية أو الكلس . إن الكمية النظرية اللازمة وفقاً للتفاعل أعلاه هي فقط 1/7 ppm لكل 1 ppm من الحديد . وبناء عليه ، إن مياهاً مشبعة بالهواء بدرجة 15 مئوية أو °59 ف ، تحتوي نظرياً على حوالي10 ppm من الأكسجين ، وينبغي لهذه الكمية أن تكفي لأكسدة حوالي 70 ppm من الحديد الثنائي إلى شكل الحديد الثلاثي . وكما لاحظنا في تحاليل 50 عينة من المياه الحاملة للحديد (الجدول 11 ـ 2 ، الفصل الثاني) ، فإن 40 عينة ، أو 80 % من العينات كانت تحتوي على أقل من 5 ppm من الحديد ، وثلاث أو ستة فقط أو 6 % منها ، كانت تحتوي على أكثر من 20 ppm من الحديد ، واحتوت واحدة على50 ppm . ومن هنا يتضح أنه في معظم المياه التي تحتوي على الحديد ، تكون هذه الكمية من الأكسجين كافية لتأمين زيادة لأكسدة محتوى الحديد فيها .

ملاحظة :

يضخم الجدول 11 . 2 نسب المياه التي تحتوي على الحديد . وعموماً قد يحتوي أكثر بكثير من 95% من المياه التي نلاقيها عادة وتحتوي على الحديد ، على أقل من5 ppm منه ، أما المياه التي تحتوي على

أكثر من 20 ppm من الحديد ، فنادرة . ويصح هذا على المياه الحاملة للحديد ، والتي تحتوي على بعض من قلوية البيكربونات . أما المياه التي تحتوي على حموضة معدنية ، فقد يكون محتواها من الحديد أكبر (انظر الجدول 15 . 2 ، في الفصل الثاني)

في كافة أجهزة التهوية ، باستثناء النموذج الضغطي ، تحقق عملية التهوية عادة غرضاً مزدوجاً :

(1) تؤمن الأكسجين المنحل لأكسدة الحديد .

(2) ترفع ، في أكثر المياه الطبيعية ، قيمة الـ PH عن طريق تخفيف محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق . وفي أكثر الحالات ، يكون هذا الرفع لقيمة الـ PH بواسطة التهوية ، وحده كافياً . فمثلاً إذا خفف ثاني أكسيد الكربون الطليق إلى مالا يزيد عن 15 ppm ، فستكون قيمة الـ PH 6,9 أو أكثر في كافة المياه التي تصل قلوياتها إلى 60 ppm أو أكثر وهذا الارتفاع في قيمة الـ PH يكفي عادة لحدوث أكسدة سريعة لبيكربونات الحديدي . وقد نحتاج في حالات أخرى لإضافة ما من الكلس أو الصودا الكاوية أو رماد الصودا إلى الماء المهوّى .

تستخدم نماذج شتى من أجهزة التهوية في تهوية المياه الحاملة للحديد ،ولكن النموذج المعروف على نطاق واسع هو نموذج حوض الكوك ، الذي يبنى عموماً من الفولاذ ، ويزود عادة بثلاثة أحواض ، وأحياناً بأربعة . ورغم أن هذا النموذج ليس هو الأكثر فعالية ، إلا أنه يخدم الهدف بصورة جيدة حقاً ، وعبوات الكوك الجديدة رخيصة إذا أريد استبدال العبوات القديمة ، بعد انسدادها برواسب الحديد . وهناك نموذج آخر يستخدم على نطاق واسع تماماً ، هو جهاز التهوية الحوضي ، الذي يبنى من الألواح الخشبية . كما تستخدم على نطاق محدود أجهزة التهوية من النموذج الضغطي لأكسدة الحديد ، عند الرغبة بمعالجة الماء تحت الضغط ، وعندما لا تكون محتويات الحديد وثاني أكسيد الكربون الطليق كبيرة . وكما سنوضح في مكان آخر من هذا الفصل ، يمر جزء من الماء في جهاز التهوية ، ثم يمزج هذا الجزء مع بقية الماء . وفي العادة تضاف أيضاً مادة قلوية ما . وإضافة إلى تهوية المياه الحاملة لحديد حمضي ، فإنه من الضروري معادلة الحمض بزيادة من الكلس ، أو رماد الصودا ، أو الصودا الكاوي

. وفيما يتعلق بدرجة الإزالة الناتجة فإن الترسيب والترشيح ، بعد التهوية ، سيعملان على تخفيف محتوى الحديد في الصبيب إلى أقل من 0.1 ppm معبراً عنه بـ Fe إن نسبة 0.3 ppm من الحديد أو أقل من هذا ، هي نسبة مرضية للتوافق مع الشروط البلدية أما الشروط بالنسبة لأكثر الصناعات فتقتضي أن لا تتجاوز هذه النسبة 0.1 ppm .

ب – المنجنيز :

في المياه القلوية النقية الحاملة للمنغنيز ، يوجد المنجنيز على شكل بيكربونات منجنيزية . تمكن أكسدة هذه البيكربونات وإزالتها عن طريق التهوية ، والترسيب ، والترشيح ، بالطريقة نفسها ، التي نستخدمها لإزالة الحديد ولكن كما سنرى في الجدول 14 . 4 في الفصل 14 ، يحتاج المنجنيز الثنائي لأن تكون قيمة الـ PH أعلى بكثير ، ويفضل أن تزيد على 10 ، من أجل أكسدتها بسرعة بواسطة الأكسجين المنحل . ومن الواضح أن التهوية وحدها لا ترفع قيمة الـ PH بهذا المقدار ، ولذلك يجب إضافة الكلس أو الصودا الكاوي . والكلس هو المادة التي تستخدم غالباً ، ويضاف إلى الماء المهوّى عند دخوله إلى حوض الترسيب . وفي العادة كثيراً ما تستخدم الـ PH عند قيم 9 ـ 9,5 ، ولكن هذا يعنى عموماً أن الاعتماد على اكتمال الإزالة ، يجب أن يلقى على عاتق المرشحات (المنضجة) وكما سنلاحظ في الفصل 14 ، فإن الطبقات فوق هذه المرشحات تمثل مشكلات حقيقية ، وخصوصاً عندما تأخذ بالتقشر .

إن أجهزة التهوية التي تستخدم على نطاق واسع لأكسدة البيكربونات الثنائية ، هي نموذج حوض الكوك . وتستخدم أيضاً أجهزة تهوية مؤلفة من ألواح خشبية ، ولكن على نطاق أضيق . أن كمية الأكسجين المنحل اللازمة لأكسدة المنجنيز الثنائي هي تقريباً الكمية نفسها ، اللازمة لأكسدة الحديد الثنائي ، أي أن 1 ppm من الأكسجين المنحل ، سوف يؤكسد نظرياً 7 ppm من المنجنيز . تحتوي على الحديد أيضاً أكثر المياه الحاوية على المنجنيز وعند الأكسدة يزال الحديد أولاً ، وعند قيم معينة الـ PH

يكون الانفصال كمياً ، فيترسب الحديد ويبقى المنجنيز في المحلول . لذلك فإن تشكل راسب بني اللون ، لا يشير بالضرورة إلى ترسب المنجنيز ، إن لم تكن قيمة الـ PH عالية بما يكفي ، فقد يكون الحديد وحده هو الذي أزيل من المحلول . وعند وجود الحديد أو المنجنيز العضويين ، فإننا نحتاج إلى التخثير إضافة إلى التهوية (انظر الفصل 14 من أجل إزالة الحديد والمنجنيز العضويين) . كثيراً ما يتردد تعليق يقول (المنجنيز يعوق الحديد) . إن المنجنيز لا يفعل ذلك ، ولكن المادة العضوية يمكنها أحياناً أن (تعوق) كلا المعدنين ، وهي المسؤولة ، بدون شك عن بعض المقولات حول إزالة الحديد والمنجنيز .

أجهزة التهوية Aerators :

من ناحية أساسية يمكن تقسيم أجهزة التهوية إلى ثلاث فئات رئيسية ، كما يلي :

(1) أجهزة يجري فيها الماء أو يتساقط من خلال الهواء .

(2) أجهزة يقرر فيها الهواء خلال الماء في حوض مكشوف .

(3) أجهزة يضخ فيها الهواء للماء وينحل فيه تحت الضغط في حوض مغلق .

تغطي الفئة (1) الغالبية العظمى من أجهزة التهوية ، وتشتمل على النماذج المدرجة والمخروطية المنحدرّة ، والصفيحية ، وحوض الكوك ، وحوض الألواح الخشبية ، والرش ، والتهوية القسرية . وبمقدار ما يتعلق الأمر بانحلال الهواء في الماء ، فإن أياً من هذه الأجهزة سوف يقوم عملياً بإشباع الماء بالهواء ، ولكن هناك فرقاً كبيراً في أدائها ، فيما يتعلق بإزالة الغازات أو الروائح الطيارة . وباختصار كلما كانت طبقة الماء رقيقة أكثر أو قطراته أصغر ، كلما كان التماس بين الهواء والماء أطول ووثيقاً أكثر ، وكلما أمكن الوصول إلى تيار حقيقي متعاكس أقرب بين الماء والهواء ، كلما كانت النتائج أفضل .

وبسبب تأثير الهواء في المزج المباشر للماء الوارد مع قليل أو كثير من الماء المهوّى في الصهريج ، فإن أجهزة تهوية الفئة (2) تكون عادة غير فعالة تقريباً إذا كان

الجريـان مسـتمراً ويمكـن تـأمين نتـائج أفضـل بكثيـر ، عنـدما يكـون التشـغيل متقطعـاً (طريقة الدفعة) .

يمكن للهواء أن ينحل بسهولة في نظام الفئة (3) وفي الواقع سوف ينحل كثير جداً منه ، مالم يتم إجراء التهوية على جزء فقط من الماء ، كما ذكرنا في هذا الفصل تحت عنوان (أجهزة التهوية بالضغط) . وفي الحالات التي يتوجب فيها إزالة الحديد من الماء ذي المحتوى من ثاني أكسيد الكربون ، ويحمل قيمة إيجابية للـPH ، تستخدم غالبـاً التهويـة الضـغطية لإبعـاد التهويـة المكشـوفة وتـوفير الضـخ . ولكـن حيثمـا كـان يتوجب خفض المحتوى العالي من ثاني أكسيد الكربون تكون التهوية الضغطية قليلة الأهمية ، حتى لو زودت بنظام تهوية .

أجهزة التهوية المدرجة : Step Aerators

تتألف هذه الأجهزة من سلسلة من الدرجات يجري فوقها الماء على شكل شلال . وتصنع الدرجات عادة من الكونكريت ، وتنتهي إلى حوض كونكريتي أيضاً، ولكن تستخدم أحيانـاً الـدرجات المصـنوعة مـن الخشـب . ويتفـاوت عـدد الـدرجات بـاختلاف المنشآت لكنها لا تقل عادة عن ثلاث ، وقلما تتجاوز العشر . إن هذه الأجهزة مرضية بالنسبة لإدخال الهواء إلى الماء ، لكنها بالنسبة لمسافة هبوط وحيّز أرضي مفترضين ، ليسـت فعالـة كـأجهزة التهويـة المصـنوعة مـن أحـواض الكـوك ، أو أحـواض الألـواح الخشبية ، أو أجهزة الرش ، أو أجهزة التهوية القسرية .

أجهزة التهوية المخروطية المتحدرة : Riffled - Cone Aerators

تستخدم هذه الأجهزة أحياناً للآبار ذات الفوهات المنخفضة والانسياب الحر ، وتصـنع عـادة مـن الخشـب علـى شـكك مخروطـي أو هرمـي ، حـول مخـرج البئـر ، وبارتفاعـات إجماليـة تتـراوح غالبـاً مـن 3 ـ 5 قـدماً . وتثبـت عـوارض أو تحـدرات مـن الخشب على الجوانب بواسطة المسامير ، لخلق نوع من الاضطراب يجب أن تكون

الحافة السفلية للمخروط فوق مستوى الماء في حوض الإيقاف ، بحيث يتساقط الماء فيه عبر الهواء ، لكنها تغمر غالباً عن طريق ارتفاع الماء في هذا الحوض . لكن هذا النموذج من أجهزة التهوية غير فعال عادة ، بسبب ثخانة طبقة الماء الجارية فوقه وصغر الباحة السطحية للمخروط والاضطراب الناقص الذي تحدثه العوارض .

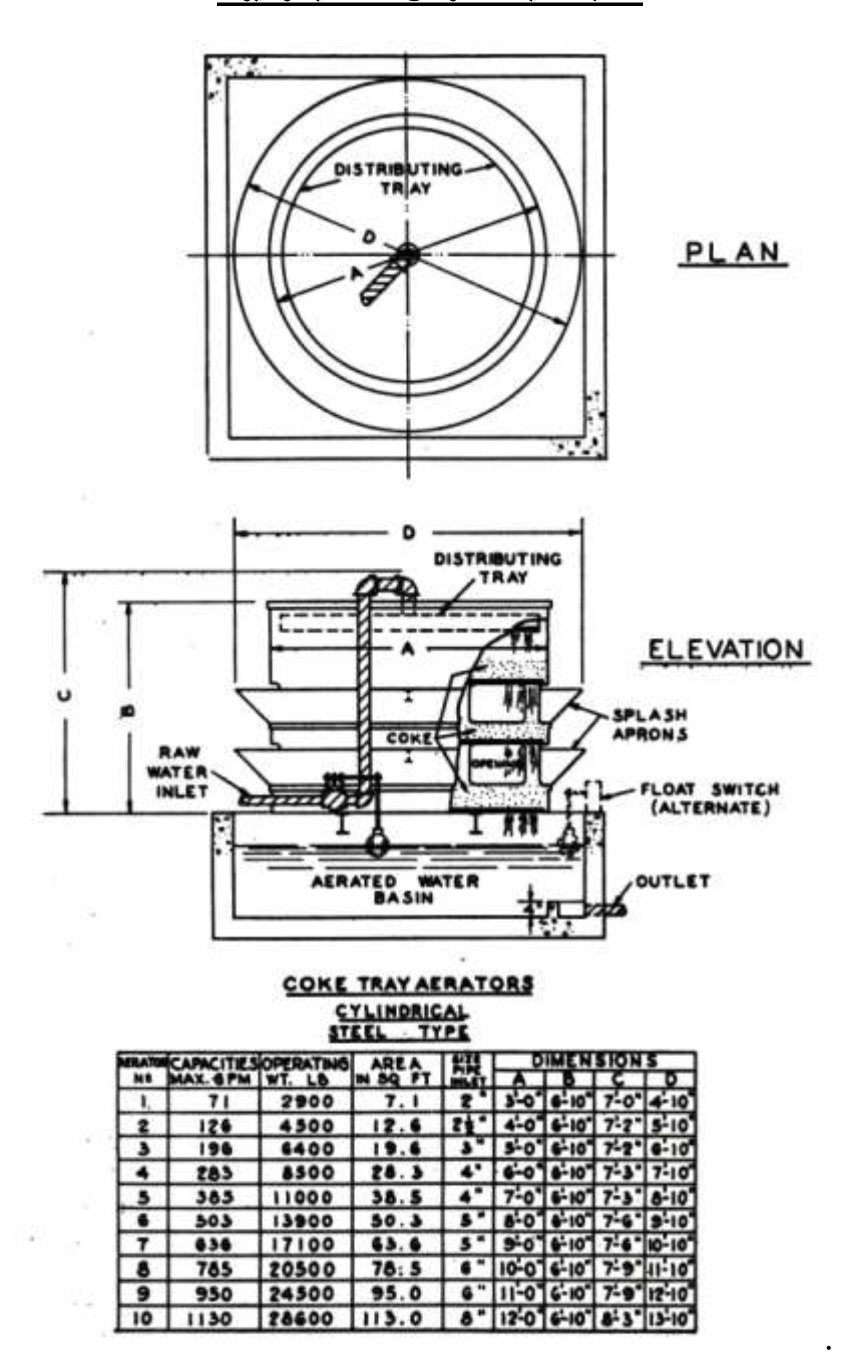
أجهزة التهوية اللوحية : Plate Aerators

تتألف هذه الأجهزة من ثلاثة أو أربعة أحواض معدنية دائرية ذات أقطار مختلفة متراكبة فوق بعضها ، أكبرها في الأسفل ، وأصغرها في الأعلى وهذه الأجهزة هي عادة أكثر فعالية من النموذج المخروطي المتحدر لأنها تحدث عدة مسافات للهبوط في الهواء ، ولكن هذه الفعالية تعتمد طبعاً على مدى رقة الجريان فوق أطراف الألواح .

جهاز التهوية المؤلف من حوض الكوك : Coke - Tray Aerator

يستخدم هذا الجهاز على نطاق واسع جداً ، وكثيراً ما يفضل لتهوية المياه التي تحمل الحديد والمنجنيز . ويصنع في تصميمين ، أسطواني ومستطيل ، ويزود عادة بثلاثة أحواض ، وأحياناً بأربعة . وتبين الصورة 1ـ 10 النموذج الأسطواني ذي الأحواض الثلاثة مع جدول القدرات ، والأبعاد ومعلومات أخرى . أما النموذج ذو الأحواض الأربعة بتصميمه الأسطواني أو المربع فيبلغ ارتفاعه حوالي 21 إنشاً.
ويزداد وزن التشغيل بحوالي 25 % وتبلغ التدفقات في كلا التصميمين ، الأسطواني والمربع وفي كل من نموذج الأحواض الثلاثة أو الأربعة ppm 10جالون/د/قدم^2 ، وهو الرقم الأقصى المأمون . وكما يظهر في الرسوم التوضيحية ، تستخدم سطوح أو أغطية لمنع تطاير الرذاذ ، ويؤدي نموذج التركيب هذا إلى خفض الخسارات التي

الصورة 1 ـ 10 . جهاز التهوية بحوض الكوك



COKE TRAY AERATORS
CYLINDRICAL
STEEL - TYPE

AERATOR No	CAPACITIES MAX. GPM	OPERATING WT. LB	AREA IN SQ FT	SIZE PIPE INLET	DIMENSIONS A	B	C	D
1.	71	2900	7.1	2"	3'-0"	6'-10"	7'-0"	4'-10"
2	126	4500	12.6	2½"	4'-0"	6'-10"	7'-2"	5'-10"
3	196	6400	19.6	3"	5'-0"	6'-10"	7'-2"	6'-10"
4	283	8500	28.3	4"	6'-0"	6'-10"	7'-3"	7'-10"
5	385	11000	38.5	4"	7'-0"	6'-10"	7'-3"	8'-10"
6	503	13900	50.3	5"	8'-0"	6'-10"	7'-6"	9'-10"
7	636	17100	63.6	5"	9'-0"	6'-10"	7'-6"	10'-10"
8	785	20500	78:5	6"	10'-0"	6'-10"	7'-9"	11'-10"
9	950	24500	95.0	6"	11'-0"	6'-10"	7'-9"	12'-10"
10	1130	28600	113.0	8"	12'-0"	6'-10"	8'-3"	13'-10"

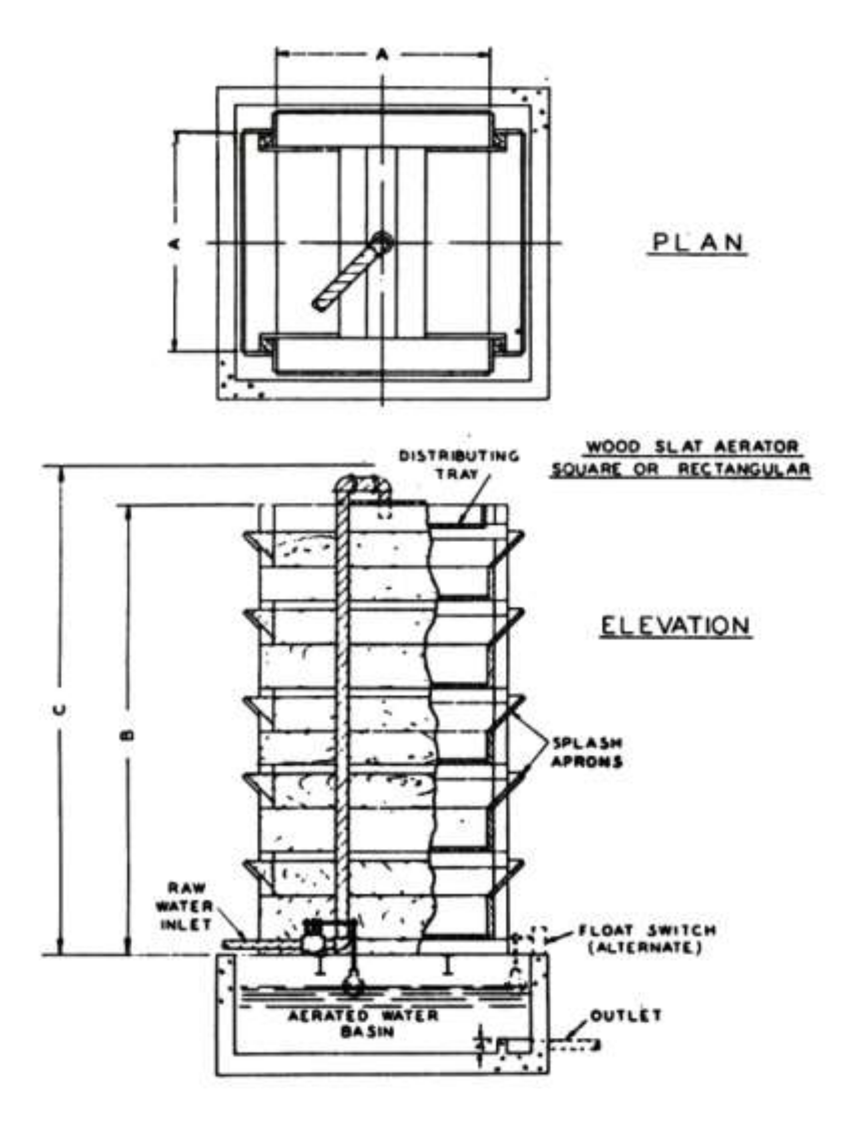
يسببها الانحراف بفعل الريح . يركب جهاز التهوية فوق حوض أو خزان ترقيد ، يزود عادة بصمام ذي عوامة ، أو مفتاح يعمل بعوامة لمنع الفيض . يجري الماء الوارد إلى

حوض توزيع ، ومنه يتساقط على شكل رذاذ عبر الهواء إلى أول سرير فحمي Coke وخلاله .

ومن هنا يتساقط عبر هوائي إلى السرير الثاني الفحمي ، وبعده عبر حيز هوائي آخر إلى السرير الفحمي الثالث ، ومن هناك يتساقط عبر حيز هوائي إلى حوض الترقيد ، وبعد فترة توقف هنا ، يعبر الماء إلى المرشحات . تتفاوت فترات الترقيد إلى حد كبير لكن الحد الأدنى اللازم لإزالة الحديد ، يجب أن لا يقل عن 15 دقيقة ، وسيكون التطبيق أفضل بكثير لو أنها وصلت إلى 30 دقيقة . وفيما يتعلق بفترات ترقيد أطول ، فإن طول هذه الفترات يعتمد على ما إذا كان الترسيب مهماً أم لا . فإذا كانت كمية الحديد قليلة جداً ، فإن الحمل الذي سيوضع على عاتق المرشحات ، سيكون خفيفاً نسبياً ، وفي هذه الحالة لا حاجة لوضع الترسيب في الحساب . أما إذا كانت كمية الحديد كبيرة ، فإن فترة الإيقاف يجب أن تكون طويلة بما يكفي لترسيب الجزء الأكبر منه ، وبالتالي تخفيف الحمل عن كاهل المرشحات . ومن الواضح أن يتوجب ، في مثل هذه الحالات ، تزويد حوض أو خزان الترقيد بجهاز لإزالة العكارة ، بحيث يمكن جرفها بصورة دورية .

وإزالة المنجنيز ، تحتاج إلى فترة ترقيد أطول ، مما تحتاجه إزالة الحديد لوحده . وكذلك بينما تحتاج كثير من المياه الحاملة للحديد إلى التهوية فقط لأكسدة الحديد ، فإن المياه الحاملة للمنغنيز تحتاج ليس فقط إلى التهوية ، بل أيضاً لإضافة الكلس أو القلى .ويجب أن تحدث هذه الإضافة مباشرة بعد التهوية ، وبعدئذٍ يجب تأمين فترة إيقاف تكفي لأكسدة المنجنيز في هذه المياه ذات القيمة العالية للـ PH (انظر الفصل 14) .

الصورة 2 . 10 جهاز التهوية المؤلف من أحواض خشبية .



أجهزة التهوية المؤلفة من أحواض الألواح الخشبية :

Wood−Slat Tray Aerators

يستخدم هذا النموذج لأغراض شتى ويصنع في تصاميم مستطيلة ، تتفاوت من مستطيلات تربيعية إلى ممدودة ، ويختلف أيضاً ، و إلى حد كبير تقريباً ، إجمالي ارتفاع الأحواض وعددها . ويظهر في الصورة 2 ـ 10 ، جهاز التهوية المربع ذو الأحواض الخمسة من الألواح الخشبية .

في الأحواض تكون متخالفة الترتيب ، بحيث أن الرذاذ الساقط فوق أطراف الألواح في أحد الأحواض يتساقط في وسطها في حوض آخر . إن أثر الطبقات الرقيقة ، وتقديم سطوح جديدة من المياه ، مهمان جداً لإحداث تهوية فعالة . كان هناك اعتقاد شائع تقريباً مفاده: أن الماء الساقط من ارتفاع عالٍ بين الأحواض يتناثر إلى عدد لا يحصى من القطيرات ، وبذلك تزداد التهوية فعالية . وتبين نتيجة الاختبارات ، خطأ هذا الاعتقاد إذ أن تحطم القطرات إلى قطيرات صغيرة بفضل السقوط من ارتفاع عالٍ على سطح عار لا يحصل في الواقع إذ تكون الألواح مبللة بالماء عند التشغيل بحيث تمارس طبقة الماء تأثيراً مخففاً يمنع تحطم القطرات . وبالتالي وبدلاً من أحواض قليلة ومسافات سقوط طويلة بينها ، فإن عدداً أكبر من الأحواض ، ومسافات سقوط أقصر بينها تجعل أجهزة التهوية أكثر فعالية بالنسبة لأي ارتفاع مفترض .

إن أقل عدد مستخدم من الأحواض هو أربعة ، ويبلغ أعلاها حوالي 18 قدماً. وتتراوح معدلات الجريان المستخدمة عادة من 5 . 10 ppm جالون / د / قدم^2 ، وأخفض هذه ترتبط بالارتفاعات المعتدلة لأجهزة التهوية . يستخدم هذا النوع من الأجهزة لإزالة أو تخفيف غازات ، مثل ثاني أكسيد الكربون ، والميثان ، وكبريت الهيدروجين . وعلى الرغم أيضاً من احتمال أن يكون جهاز حوض الكوك للتهوية أوسع انتشاراً لإزالة الحديد والمنجنيز ، فإن أجهزة التهوية المؤلفة من أحواض الألواح الخشبية شائعة الاستخدام جداً لهذا الغرض .

أجهزة التهوية بالرش : Spray Aerators

غالباً ما يفضل نموذج الرش من أجهزة التهوية ، وخصوصاً في المنشآت البلدية لإزالة الروائح والطعوم . والفعل آليّ في طبيعته ، أي جرف المواد الطيارة بالهواء ، وكلما كان الرش ناعماً أكثر كلما كانت الإزالة أفضل . ولكن وجد أن الفتحات الناعمة ميالة جداً إلى الانسداد ، و لذلك تستخدم عملياً فتحات تتراوح من 1 – 1.5 إنشاً وتركب هذه الفتحات عادة فوق حوض مكشوف وتوجّه الخراطيم نحو الأعلى ، بحيث

يرش الماء صعوداً إلى الجو ، ثم يتساقط عائداً إلى الحوض . إن مباعدة الخراطيم ورؤوس التشغيل يختلفان إلى حد ما في الكثير من منشآت التهوية . فتتراوح مباعدة الخراطيم تقريباً من حوالي خرطوم في كل 50قدم^2 إلى خرطوم واحد في كل 175 قدم^2 . ونادراً ما تكون رؤوس التشغيل أقل من 8 قدماً ، وتتراوح إلى أكثر بقليل من 25 قدماً .

أجهزة التهوية أو أجهزة نزع الغاز بالتهوية القسرية :

Draught –Forced Aerators Or Degasifies

إن جهاز التهوية أو نزع الغاز الذي يعمل بالتهوية القسرية ، كما يظهر في الصورة 3ـ 10 هو هيكل مغلق ، يحتوي على عدد من أحواض الألواح الخشبية المتراصة والمتراكبة بإحكام . ويدخل الماء أعلى الجهاز حيث يقوم حوض توزيع مزود ، بحليمات توزيع ومواسير هوائية معترضة ، بتوزيع الماء بالتساوي فوق أعلى سلسلة من أحواض الألواح الخشبية ، التي يتساقط فوقها الماء . الألواح في الأحواض خلافية التدريج ، بحيث تسقط الطبقات المائية الرذاذية على أطراف الألواح في أحد الأحواض ، إلى وسط الألواح في الحوض الذي تحته مباشرة ، وفي أسفل جهاز التهوية ، يجري الماء المهوّى عبر سداد هوائي air seal إلى حوض أو خزان إيقاف . يزود أسفل الجهاز بالهواء بواسطة ضاغط ينفخ الهواء صعوداً عبر جهاز التهوية ، فيتشكل بذلك تيار معاكس لجريان الماء نزولاً في الجزء العلوي من جهاز التهوية ، يفرغ الهواء ومحتواه من الغاز المزال من الماء بواسطة عدد من المواسير الهوائية المعترضة إلى حيز هوائي فوق حوض التوزيع ، ومن هنا ينصرف إلى الفضاء بواسطة مخرج هوائي .

تعزى الفعالية العالية لهذا إلى جريان تيار متعاكس موجه من الهواء والماء ، إضافة إلى تأثير عدد كبير من الأحواض اللوحية ، التي تقدم سطوحاً جديدة من قطرات وطبقات الماء الرقيقة . وكما نلاحظ من القدرات والمساحات المدرجة في الجدول في الصورة 3ـ 10 فإن معدل الجريان هو 22 ppmجالون/د/قدم^2 . وسنلاحظ

أيضاً أن معدل الجريان يبقى ثابتاً ، رغم أن ارتفاع جهاز التهوية من أجل إزالة ثاني أكسيد الكربون يزداد وفقاً لمحتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق في الماء الذي نريد معالجته ، والمدى الذي يجب خفضه إليه .

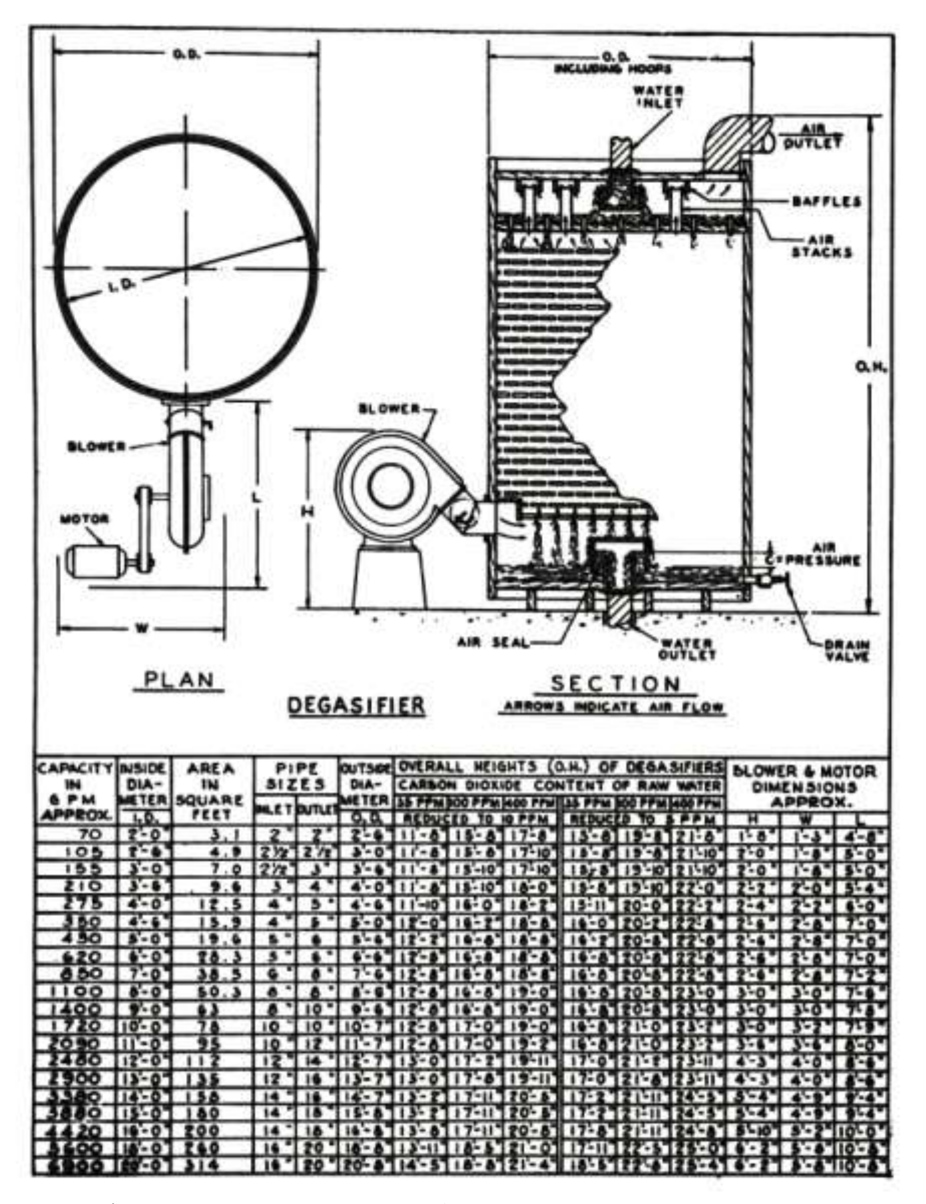
وأهم استخدام لجهاز التهوية من نموذج التهوية القسرية ، هو إزالة غاز ثاني أكسيد الكربون ، وتكون النتائج في التطبيق العملي ممتازة ، وثابتة مع المياه القلوية أو المتعادلة ، أو الحمضية ، كما في الصبيب من أجهزة تبادل أيونات الهيدروجين .

ويستخدم هذا النموذج ، على نطاق واسع أيضاً لإزالة كبريت الهيدروجين وهذا يزال في بعض الحالات كما ذكرنا سابقاً في أجهزة تهوية مزدوجة الحجرات ، الحجرات العليا منها من نموذج التهوية القسرية وتعمل بغازات المداخن المغسولة .

وتعمل هذه الغازات على إفراغ ثاني أكسيد الكربون في الماء ، وهكذا تنخفض قيمة pH الماء ، ويتحرر كبريت الهيدروجين الذي ينطلق مع الغازات المعدومة أما الحجرات السفلية فتكون مكشوفة ، وتعمل أجهزة التهوية المؤلفة من أحواض من ألواح خشبية على إزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق الذي دخل إلى الماء مع غازات المداخن . يستخدم في حالات أخرى نفخ الهواء العادي نظراً للاعتماد على التأثير الجرثومي في جهاز التهوية والخزان لإزالة الكبريت الذي لم يُزل بالتهوية .

إن إنشاء هذا النموذج من الخشب أمر شائع تقريباً ويمكنه معالجة المياه الكبريتية ، والمياه ذات المحتوى العالي من ثاني أكسيد الكربون ، والمياه الحمضية . ولذلك يستخدم على نطاق واسع لنزع الكربنة من الصبيب الحمضي لمبادل أيونات الهيدروجين ، والذي يكون عادة عالي المحتوى من ثاني أكسيد الكربون الطليق .

الصورة 3 . 10 جهاز التهوية بالتيارات القسرية .



CAPACITY IN GPM APPROX.	INSIDE DIAMETER I.D.	AREA IN SQUARE FEET	PIPE SIZES		OUTSIDE DIAMETER O.D.	OVERALL HEIGHTS (O.H.) OF DEGASIFIERS — CARBON DIOXIDE CONTENT OF RAW WATER						BLOWER & MOTOR DIMENSIONS APPROX.		
						REDUCED TO 10 PPM			REDUCED TO 5 PPM					
			INLET	OUTLET		35 PPM	300 PPM	400 PPM	35 PPM	300 PPM	400 PPM	H	W	L
70	2'-0"	3.1	2"	2"	2'-6"	11'-6"	15'-6"	17'-8"	13'-6"	19'-8"	21'-6"	1'-8"	1'-3"	4'-8"
105	2'-6"	4.9	2½"	2½"	3'-0"	11'-6"	15'-6"	17'-10"	13'-6"	19'-6"	21'-10"	2'-0"	1'-8"	5'-0"
155	3'-0"	7.0	2½"	3"	3'-6"	11'-6"	15'-10"	17'-10"	13'-8"	19'-10"	21'-10"	2'-0"	1'-8"	5'-0"
210	3'-6"	9.6	3"	4"	4'-0"	11'-6"	15'-10"	18'-0"	13'-6"	19'-10"	22'-0"	2'-2"	2'-0"	5'-4"
275	4'-0"	12.5	4"	5"	4'-6"	11'-10"	16'-0"	18'-2"	13'-11	20'-0"	22'-2"	2'-4"	2'-2"	6'-0"
350	4'-6"	15.9	4"	5"	5'-0"	12'-0"	16'-2"	18'-6"	16'-0"	20'-2"	22'-6"	2'-6"	2'-6"	7'-0"
450	5'-0"	19.6	5"	6"	5'-6"	12'-2"	16'-6"	18'-6"	16'-2"	20'-6"	22'-6"	2'-6"	2'-6"	7'-0"
620	6'-0"	28.3	5"	6"	6'-6"	12'-6"	16'-8"	18'-6"	16'-6"	20'-8"	22'-6"	2'-6"	2'-6"	7'-0"
850	7'-0"	38.5	6"	8"	7'-6"	12'-8"	16'-8"	18'-8"	16'-6"	20'-8"	22'-6"	2'-6"	2'-6"	7'-2"
1100	8'-0"	50.3	8"	8"	8'-6"	12'-6"	16'-8"	19'-0"	16'-6"	20'-8"	23'-0"	3'-0"	3'-0"	7'-6"
1400	9'-0"	63	8"	10"	9'-6"	12'-8"	16'-8"	19'-0"	16'-8"	20'-8"	23'-0"	3'-0"	3'-0"	7'-8"
1720	10'-0"	78	10"	10"	10'-7"	12'-8"	17'-0"	19'-0"	16'-8"	21'-0"	23'-2"	3'-0"	3'-2"	7'-9"
2090	11'-0"	95	10"	12"	11'-7"	12'-6"	17'-0"	19'-2"	16'-8"	21'-0"	23'-2"	3'-6"	3'-6"	8'-0"
2480	12'-0"	112	12"	14"	12'-7"	13'-0"	17'-2"	19'-11"	17'-0"	21'-2"	23'-11"	4'-3"	4'-0"	8'-6"
2900	13'-0"	135	12"	16"	13'-7"	13'-0"	17'-8"	19'-11"	17'-0"	21'-8"	23'-11"	4'-3"	4'-0"	8'-6"
3380	14'-0"	156	14"	18"	14'-7"	13'-2"	17'-11"	20'-3"	17'-2"	21'-11"	24'-3"	5'-4"	4'-9"	9'-4"
3880	15'-0"	180	14"	18"	15'-8"	13'-2"	17'-11"	20'-3"	17'-2"	21'-11"	24'-3"	5'-4"	4'-9"	9'-4"
4420	16'-0"	200	14"	18"	16'-8"	13'-8"	17'-11"	20'-8"	17'-8"	21'-11"	24'-8"	5'-10"	5'-2"	10'-0"
5600	18'-0"	260	16"	20"	18'-8"	13'-11	18'-3"	21'-0"	17'-11	22'-3"	25'-0"	6'-2"	5'-8"	10'-8"
6900	20'-0"	314	16"	20"	20'-8"	14'-5"	18'-8"	21'-4"	18'-5"	22'-8"	25'-4"	6'-2"	5'-8"	10'-8"

ويحتوي على كميات ملحوظة من الأحماض المعدنية . وتصنع أجهزة التهوية هذه كما نرى في الصورة 3 ـ 10 بشكل أسطواني ، ولكن الأشكال المستطيلة كثيراً ما تستخدم أيضاً . وتستخدم أيضاً لأغراض معينة ، حشوة من حلقات راشيغ Raschig بدلاً من أحواض الألواح الخشبية .

صهاريج نزع الكربنة : *Decarbonation Tanks*

يتألف نموذج التهوية هذا من صهريج مكشوف مبني من الخشب عادة ، يحتوي على شبكة هوائية ، ينفخ الهواء من خلالها صعوداً عبر الماء في الصهريج وكثيراً ما تستخدم هذه الأجهزة لإزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق من صبيب أجهزة تبادل أيونات الهيدروجين ، لذلك تعرف بشكل شائع ، تحت تسمية (صهاريج نزع الكربنة) . وتستخدم عادة لمعالجة الكميات المعتدلة فقط من الماء ، لأن الكميات الأكبر تعالج بشكل شائع تقريباً بجهاز التهوية من نموذج التيارات القسرية . وكما ذكرنا سابقاً فإن تيارات الفقاعات الهوائية تحرك الماء بسرعة وبالتالي ، يعمل مباشرة في طريقة المعالجة المستمرة على مزج الماء الوارد مع بقية الماء في الصهريج . وتساعد العوارض في تخفيف هذا المزج للماء غير المهوّى بالماء المهوّى ، وتزيد فعالية العملية لأن الطريقة المتقطعة سوف تعطي صبيباً منخفض المحتوى بثاني أكسيد الكربون حسب الرغبة .

أجهزة التهوية الضغطية : Pressure Aerators

تستخدم أجهزة التهوية الضغطية ، أو أجهزة الإشباع أحياناً ، في المواضع التي لا يكون فيها مرغوباً وجود أجهزة التهوية والمضخات المزدوجة . وبما أن ذوبانية الهواء في الماء تزداد بتناسب طردي بالقياس مع الضغط المطلق ، فإن حجم الهواء الذي سوف ينحل عند 60 pisg أو 75 pisg سيبلغ خمسة أضعاف الضغط الجوي . ولذلك إذا أشبع الماء بالهواء عند 75 pisg فإنه عند ما يسحب إلى صنبور مثلاً ، يتناثر على نحو سيئ جداً ، بسبب تحرر هذه الزيادة من الهواء .

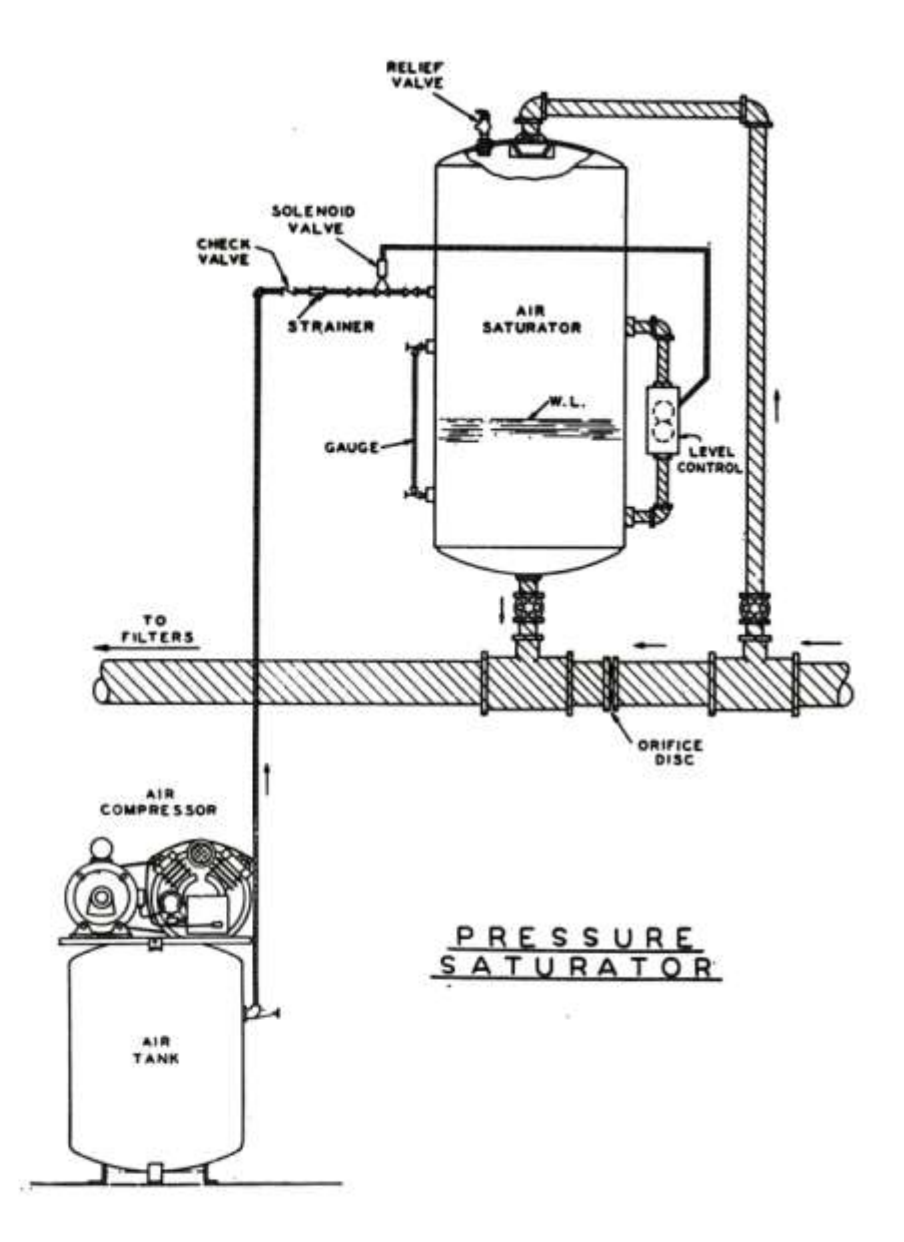
يتم التغلب على هذا التناثر في جهاز الإشباع الضغطي لأن جزءاً فقط ، مقرراً سلفاً يشبع بالهواء ، ثم يمزج مع بقية الماء . ففي حالة كالحالة السابقة مثلاً ، يتم إشباع خمس الماء فقط عادة بالهواء . وعندما يمزج هذه الجزء مع أربعة الأخماس من الماء غير المشبع ، فإن كمية الهواء المنحلة ، الموجودة في المزيج ، سوف لن تتجاوز الكمية التي يمكن للماء أن يحتجزها محلوله في الضغط الجوي . مع ذلك فإن هذه

الكمية تعتبر أكثر كفاية لأكسدة أي كمية طبيعية من الحديد أو المنجنيز لأن كل 1 ppm من الأكسجين المنحل يكفي لأكسدة 7 ppm من الحديد أو المنجنيز (انظر الفصل 14 من أجل قيم الـ PH اللازمة للأكسدة) .

يتم التزويد بالهواء اللازم بواسطة ضاغط هواء ، يشغّل الضاغط ويوقف حسب الطلب ، بواسطة ضابط مستويات وصمام يشغّل بملف لولبي . يدفع الجزء من الماء الذي يتوجب هذا الماء إشباعه عبر جهاز الإشباع بواسطة قرص ذي فتحة وصمام قابل للتعديل . يدخل هذا الماء إلى أعلى جهاز الإشباع من خلال فتحة اعتراضية بحيث يتساقط على شكل قطرات عبر الحيز الهوائي إلى أسفل الصهريج، ويفرع من هناك إلى تيار الماء الرئيسي ، ويمزج معه .

ورغم أن جهاز الإشباع هذا يقوم بإدخال الهواء إلى الماء ، إلا أنه لا يخفف من محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق ، وبما أن الماء يجري بعدئذٍ بصورة مباشرة عادة ، إلى المرشحات دون حدوث أي ترسيب ، إلا أن استخدامه محدود بالمياه ذات المحتوى المنخفض من الحديد أو المنجنيز ، والمياه ذات المحتوى المنخفض من ثاني أكسيد الكربون الطليق . وعند إضافة المواد الكيميائية القلوية ، فإنها تضاف مباشرة بعد معالجة الإشباع . ويستخدم هذا الجهاز في مجال آخر ، بالاقتران مع وحدات الزيوليت لإزالة الحديد أو المنجنيز ، وهي حالات يستخدم جهاز الإشباع قبل مرشحات الزيوليت للمنغنيز .

الصورة 4 . 10 . جهاز الإشباع الضغطي (جهاز التهوية) .



الفصل الحادي عشر

نزع الهواء Dearation

إن أشيع نموذج للمياه الأكاّلة ، هي تلك التي تحتوي على الهواء المنحل . وبما أن محتوى الأكسجين في الهواء المنحل هو العامل المسبب ، فإن هذا النمط من التآكل ، يعرف تحت اسم (تأكل الأكسجين المنحل) . لا يحدث التآكل في قطعة ساطعة من الفولاذ أو الحديد ، عند الاحتفاظ بها في جو جاف تماماً . وسوف لن يكون التآكل ملحوظاً ، إذا وضعنا قطعة اختبار مشابهة ، في مياه منزوعة الهواء تماماً على أن لا تكون قيمة الـ pH فيها منخفضة جداً . أما إذا غمرت قطعة الاختبار في مياه تحتوي على أكسجين منحل فإن التآكل سيظهر بسرعة .

يزداد التآكل بالأكسجين المنحل سرعة عن طريق خفض قيمة pH الماء ، وينقص برفعها وهكذا ، عند وجود الهواء وثاني أكسيد الكربون الطليق بمحتوى عالٍ في مياه منخفضة القلوية ، فإن التآكل يحدث بسرعة أكبر بكثير ، من سرعة حدوثه في مياه ذات قلوية مماثلة ، لكنها منخفضة المحتوى بثاني أكسيد الكربون الطليق . وعند ما يكون وجود ثاني أكسيد الكربون الطليق كافياً لإعطاء قيمة منخفضة للـ pH ، فقد تكون هذه المياه أكالة ، حتى عندما تكون خالية من الأكسجين المنحل ، لكنها ستكون أكالة بدرجة أدنى بكثير من مياه تحمل درجة مماثلة للـ pH ، وتحتوي على أكسجين منحل . وكرقم تقريبي ، يمكن اعتبار الأكسجين أكاّلاً بمقدار عشرة أضعاف ثاني أكسيد الكربون .

يزداد بسرعة معدل التآكل بالأكسجين المنحل ، في أجهزة تسخين المياه ، مع رفع درجات الحرارة ، إلى حد أقصاه 170 ف تقريباً . وعلى العكس ، ينقص هذا المعدل بسرعة عند خفضها . واعتمادا على القانون الكيميائي العام ، يمكننا الافتراض أن هذا التفاعل ، يتضاعف سرعة مع كل ارتفاع في درجة الحرارة

مقداره 18 ْف (10 مئوية) . وبصورة عامة يمكننا أن نتوقع إذن أن فعالية التآكل بالأكسجين المنحل في درجات حرارة أعلى ، ستكون أكثر بـ 200 مرة منها بدرجة 32ْ ف . ولكن هناك عوامل أخرى تعمل في الاتجاه المعاكس ، واحد منها ، هو أن ذوبانية الهواء في الماء تنقص مع ارتفاع درجات الحرارة .

ونحن نعرف من التطبيق العملي ، أن الأنابيب التي تحمل مياهاً حارة خفيفة العسرة ، تتآكل بسرعة أكبر بكثير من الأنابيب التي تحمل المياه الباردة ، ومن حنفيات المياه الساخنة ، تنبثق أكثر أنواع المياه (المياه الحمراء) سوءاً (مع المياه ذات المحتوى العالي بالبيكربونات ، تقوم قشرة كربونات الكلسيوم المتشكلة ، وبدرجة واضحة جداً بحماية المعدن تحتها) . ومن الواضح أنه يجب تفادي تشكل قشرة ثخينة ، ولكن قشرة رقيقة موجهة من كربونات الكلسيوم ، تستخدم كثيراً لتخفيف التآكل في شبكات توزيع المياه البلدية ، وشبكات التبريد ، حيث يدور عبر أبراج تبريد مكشوفة ، الخ . وكثيراً ما يعول المهندسون أيضاً في أجهزة الضغط المنخفض القديمة ، على قشرة رقيقة (كقشرة البيض) لتخفيف التآكل في المرجل ، ولكن هذه القشرة لا تحمي أنابيب العودة منه . لا يمكن التساهل بتشكل القشرة في مراجل الضغط العالي . وبدلاً من ذلك تقتضي هذه المراجل عملياً إزالة كامل الأكسجين المنحل ، ويمكن إجراء ذلك بواسطة أجهزة نزع الهواء (مسخّنات نزع الهواء) . وكثيراً ما تستخدم المسخنات المكشوفة لمراجل الضغط المنخفض ، حيث لا تدعو الحاجة إلى مثل هذه الإزالة الكاملة . ويمكن استخدام أجهزة خوائية لنزع الهواء لإزالة الغازات المنحلة من المياه الباردة ، ووقاية الأنابيب من التآكل ، ونزع الكربون في طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات .

إزالة الأكسجين والنتروجين ، وثاني أكسيد الكربون بواسطة الغلي :

يما أن ذوبانية الأكسجين ، والنتروجين ، وثاني أكسيد الكربون هي صفر عند نقطة الغليان ، فإنه يمكن تخليص الماء من الهواء المنحل وثاني أكسيد الكربون عن طريق غليه ، وتصريف الغازات المنطلقة ويمكن إجراء ذلك في ضغوط جوية عالية ومنخفضة . بغلي الماء البارد تحت الفراغ vacuum ، يمكن إحداث نزع الهواء من الماء بدرجات الحرارة العادية ، والعاملان المهمان هما :

(1) غلي الماء ، سواء حدث بدرجات الحرارة العادية أو بدرجة 212 ْ ف (100 ْمئوية) أو أكثر .

(2) تصريف الغازات المنطلقة .

لا يتم نزع الهواء بشكل كامل بمجرد رفع درجة الحرارة إلى درجة الغليان ، أو بمجرد زيادة التفريغ مع المياه الباردة حتى تبدأ بالغليان . وستكون ذوبانية الغاز أكثر فعالية لأنها تعتمد على ضغطه الجزئي ، وعلى انخفاض ذلك الضغط . ولذلك إذا غلي الماء في حيز مغلق ، فإن إزالة الغازات ستكون أكثر اكتمالاً ، كلما كان حجم بخار الماء أكبر ، مقارنة بحجم الغازات المنطلقة . يتم نزع الهواء بصورة دائمة تقريباً ، عن طريق استخدام البخار المنعدم في تسخين الماء ، وإزالة الغازات المنطلقة إلا في حالة استخدام جهاز التهوية الخوائي .

أجهزة التسخين المكشوفة :

كثيراً ما تستخدم أجهزة التسخين المكشوفة لتسخين ونزع محدود للهواء من مياه تغذية المراجل ذات الضغط المنخفض ، غير المزودة بأجهزة التوفير من الأنابيب الفولاذية ، أو بأجهزة تسخين تدريجية والدرجة التي يتم فيها نزع الهواء ، لا تكون كاملة في أجهزة التسخين المكشوفة ، ولكن محتوى الأكسجين المنحل سوف ينقص في المعدات المصممة على نحو مناسب إلى 1ـ 2 مل/ ل وسترتفع درجة الحرارة عادة ضمن حدود 3 ْ أو 4 ْ ف من درجة حرارة البخار.

تدخل مياه التغذية إلى جهاز التسخين المكشوف من نموذج الرش من خلال صمام للتحكم بالمستويات المائية ، مربوط بعوامة في قفص خارجي عائم . وتعمل هذه العوامة بتأثير سوية الماء في جهاز التسخين حيث تفتح وتسد جريان مياه التغذية عبر صمام التحكم ذاك ، وفقاً لزيادة أو نقص الماء المسحوب من جهاز التسخين .

وبعدئذٍ ، تجري مياه التغذية عبر مكثف التنفيس قبل دخولها إلى صندوق الماء المزود بصمام للرش . ويمكن تنفيس أجهزة التسخين مباشرة إلى الجو بدون استخدام مكثف تنفيس ، ولكن ترتيباً كهذا يبدد كثيراً من البخار . وعند استخدام مكثفات التنفيس ، فإن معظم البخار المستخدم في صرف الغازات إلى الجو ، يتكثف بحيث يستعاد محتواه الحراري بواسطة ماء التغذية الوارد ، ولا يتبدد إلا شيء بسيط من البخار عبر المخرج . تدخل عائدات الماء الساخن وناتج التكثيف إلى خط مياه التغذية بعد مغادرتها لمكثف التنفيس ، ويقوم حاجز أو صمام الفائض بحماية جهاز التسخين من أن يطفح بموجات عارمة من عائدات الماء الساخن .

وعندئذٍ تدخل مياه التغذية و / أو العائدات إلى صندوق الماء المزود بصمام للرش ، ومن هنا ترش إلى جهاز التسخين ويستخدم عادة البخار المنفلت للتسخين ، ويسمح له بالدخول إلى الجزء العلوي من جهاز التسخين من خلال منفذ للبخار . وإذا لم يكن البخار المنفلت كافياً لتسخين الماء إلى بضع درجات من درجة البخار ، فإنه يجب إجراء الترتيبات لاستنزاف البخار الحي بما يكفي لتعويض النقص عند ما يرش الماء خلال البخار ، فإنه يسخن إلى بضع درجات من درجة البخار ، وينزع هواءه إلى أقل من 0,3 مل من الأكسجين المنحل في اللتر الواحد من الماء .

ملاحظة :

إن الماء المشبع بالهواء في درجة °50 ف كما يظهر في الجدول 3 . 8 في الفصل الثالث ، يحتوي على 7,9مل / ل من الأكسجين المنحل . وتعمل المسخنة المكشوفة من نموذج الرش على خفض هذا الرقم إلى أقل من 0,3 مل / ل ، وهذا يعادل إزالة 96 % من محتوى الأكسجين المنحل.

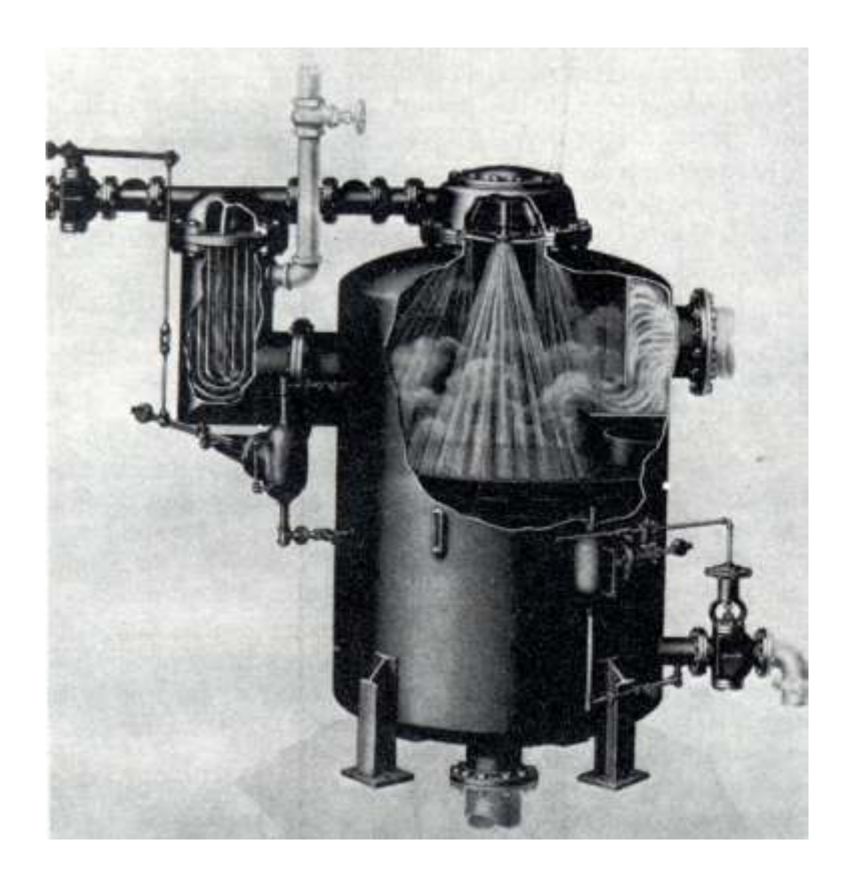
يسقط الماء بعدئذٍ إلى الماء المختزن في جهاز التسخين . تؤمن الكمية العادية من المخزون لمدة دقيقتين . وبالتالي إذا كان الطلب 120.000 ليبره في الساعة ، فإن الكمية العادية من مخزون الماء الحار سوف تكون :

120.000 ÷ 30 = 4000 ليبرة ، أو حوالي 500 جالوناً . ويمكن تأمين قدرات تخزين أكبر في الحالات الخاصة . ولتفاد الوميض flashing ، يتم تركيب مضخة تغذية المرجل على مسافة ما تحت جهاز التسخين ، ويوضع مخرج جهاز التسخين عادة في أسفله وعندما يكون مطلوباً نزع الهواء من ماء التسخين بشكل كامل يمكن استخدام جهاز تسخين من النموذج النازع للهواء .

أجهزة نزع الهواء : أجهزة التسخين النازعة للهواء من نموذج الرش :

توضح الصورتان 2 .11 و 3 -11 أجهزة التسخين النازعة للهواء من نموذج الرش ، والجهاز في الصورة 2 .11 مزود بحوض أفقي للتخزين . وتظهر المنشآت النموذجية لهذه الأجهزة في الصورتين 4 ـ 11 و 5 ـ11 . يستخدم البخار مرة واحدة في جهاز التهوية المكشوف ، ودرجة نزع الهواء الناتجة لا تكون كاملة . ويستخدم البخار مرتين في أجهزة التسخين النازعة للهواء ، ففي المرة الأولى يستخدم لغسل الماء الحار القادم من جهاز التسخين الأولي والذي لم ينزع هواؤه بصورة كاملة , وفي المرة الثانية للتسخين وإزالة الغازات المنحلة في جهاز التسخين الأولي . وكثيراً ما يدعي هذا النظام الذي يستخدم الغاز مرتين بالنظام السالك Thoroughfare System وهو ينزع الهواء بصورة كاملة أيضاً ، حتى أن ثمالة الأكسجين تكون صفراً عملياً ، أو إذا جاز التعبير ، أقل من 0,005 مل / ل ، وهذا بضمان المصنّعين.

الصورة 1 . 11 جهاز تسخين مكشوف ممن نموذج الرش مع مكثف تنفيس خارجي :



وكما تبين الصورة 2 ـ 11 ، فإن مياه التغذية القادمة من أنبوب مدخل الماء، تتدفق عبر صمام ضبط المستويات المائية ، يعمل بواسطة عوامة في قفص طفوّ خارجي . وعندما يزداد طلب الماء ، تعمل العوامة فوق الصمام لفتحه ، وعندما يتناقص طلب الماء ، تمارس العوامة على الصمام تأثيراً سادّاً . تؤمن وصلة بعد هذا الصمام مباشرة من أجل عائدات الماء البارد . وبعدئذٍ تجري هذه العائدات ومياه التغذية الباردة ، عبر مكثف تنفيس ، إلى صندوق الماء المزود بصمام للرش . وبعدئذٍ يمر الماء عبر صمامات الرش ، التي تقوم برشّه إلى حيز البخار حيث يسّخن وينزع هواؤه إلى أقل من 0,3مل من الأكسجين المنحل في

اللتر . ومن هنا يجري هذا الماء الساخن إلى أجهزة الغسل البخارية ، حيث يغسل تماماً بكل البخار اللازم ، وذلك بواسطة جهاز التسخين المزود بصمام للرش .



الصورة 2 . 11: جهاز التسخين العمودي النازع للهواء من نموذج الرش .

عندما يكون الماء الساخن هذا ، الذي يدخل الغسل البخاري ، ضمن درجات من حرارة البخار ، يتكثف جزء ضئيل جداً من البخار فيه . إن حجم البخار المارّ عبر جهاز الغسل البخاري كبير جداً ، إذا ما قورنت بحجم الماء

الساخن الذي هواؤه ، بحيث يكون الضغط الجزئي للأكسجين فيه مهملاً . علاوة على ذلك ونظراً لوجود علوّ ما لضغط الماء فوق البخار (هناك خسارة للضغط عبر جهاز الغسل مقدارها نصف باونداً تقريباً) ، فإن الماء المغسول يسخن إلى أكثر قليلاً فوق نقطة الغليان في الضغط المنخفض السائد عند المستوى ، حيث يخرج من جهاز الغسل . والاندفاع الطفيف التالي عند هذا المستوى ، يساعد أيضاً في نزع الهواء .

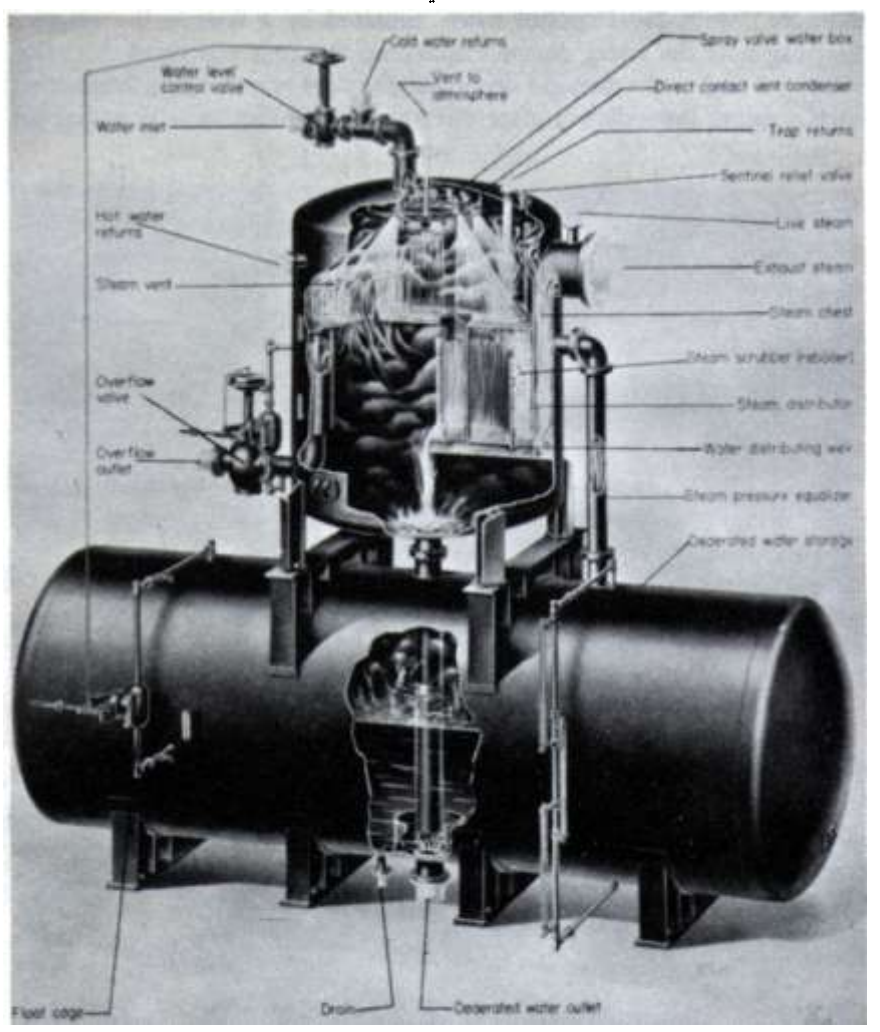
يدخل البخار بكامله إلى جهاز التسخين عبر صندوق للبخار . وبعدئذٍ يعبر جهاز الغسل ، يصعد إلى حجرة المسخن المزود بصمام للرش ، وهنا يتم تسخين الماء المرشوش . ويجري عادة إدخال عائدات الماء الساخن إلى الحجرة نفسها . والبخار المستخدم بخار منفلت بشكل ثابت تقريباً ، ولكن إذا كان غير كاف أحياناً ، فلا بد من اتخاذ الترتيبات لاستنزاف ما يكفي من الغاز الحي لتعويض العجز .

تؤمن ماسورة طفح ، تتفرغ بواسطة مانع إطاري لتسرب المياه ، أو بواسطة صمام الفائض ، وذلك لمنع جهاز التسخين النازع للهواء من الطفح . ويمكن تأمين تخزين كاف خشية من تبديد ناتج التكثيف . فتثبت العوامة لإغلاق صمام مدخل مياه التغذية عند مستوى منخفض بما يكفي لتأمين حيّز فوقه من أجل الاندفاعات الوميضية في عائدات التكثيف . جرت العادة أن يكون مخرج جهاز التسخين النازع للهواء في قاعه ، وتركب مضخة تغذية المرجل على مسافة كافية تحت جهاز نزع الهواء وذلك للمحافظة على ضغط عالٍ إيجابي على سحب المضخة وتفادي الوميض .

وكما ذكرنا سابقاً تضاف عائدات الماء الساخن ، كناتج التكثيف من نظام التدفئة في حيز البخار في الحجرة الأولية للتسخين . وعندما ينخفض الضغط ، سوف تتدفع العائدات المحبوسة تحت ضغط أعلى من أنابيب البخار ، موفرة بذلك حجماً محدداً من البخار . ومن أجل استخدام هذا الحجم في جهاز الغسل البخاري

، إضافة إلى تسخين مياه التغذية ، يجري عادة تلقيم هذه العائدات إلى صندوق البخار الموجود فوق أجهزة نزع الهواء: يظهر هذا الربط في الصورة التوضيحية .

الصورة 3 . 11 جهاز تسخين نازع للهواء من نموذج الرش ذو صهريج أفقي للتخزين ومكثف تنفيس داخلي التماس المباشر .



وكما ذكرنا تكون درجة نزع الهواء التي تحدث في جهاز التسخين النازع للهواء ، كاملة من الناحية العملية ، لأنه لا يمكن اكتشاف الأكسجين بواسطة الاختبارات ، التي تبين وجوده منحلاً بمحتوى ضئيل كـ 0,005 مل / ل ، وهذا

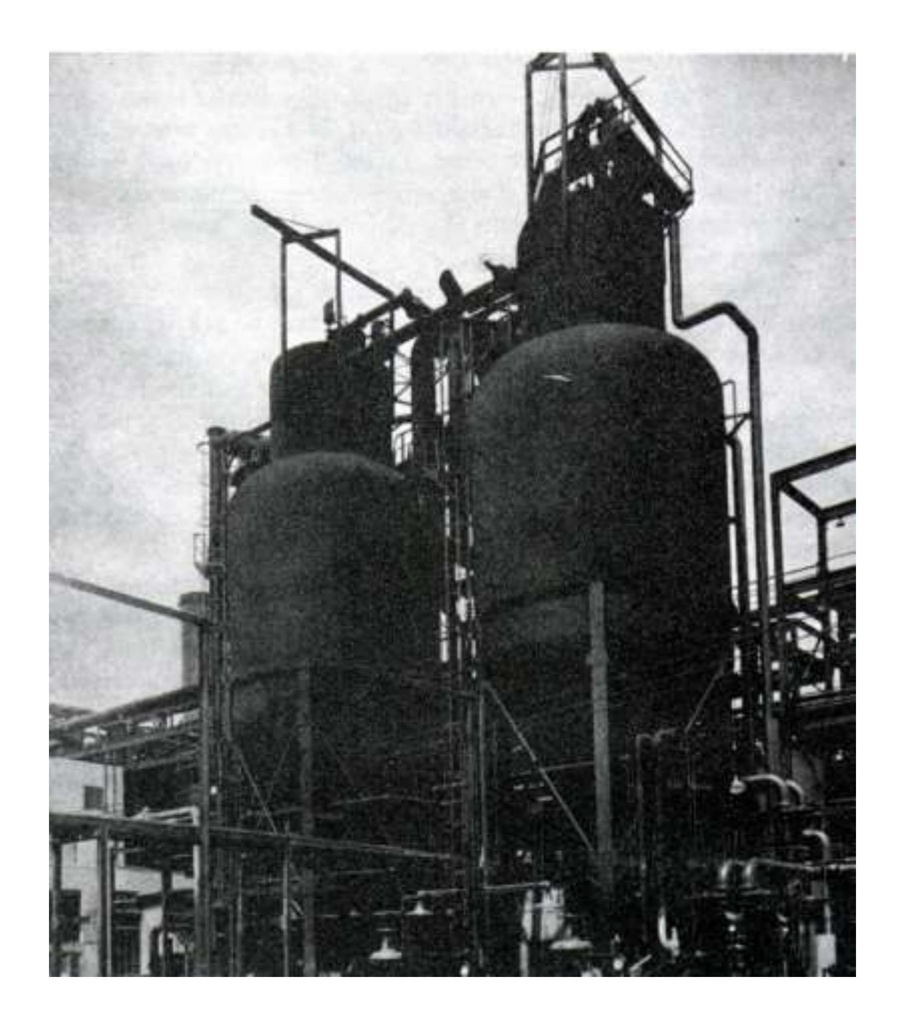
بضمانة المصنعين عادة ، أي أن محتوى الأكسجين المنحل في صبيب جهاز نزع الهواء ، سوف لن يتجاوز 0,005 مل / ل . وما من شك أيضاً أن النتروجين يزال عملياً بصورة كاملة . وكذلك أيضاً ثاني أكسيد الكربون ، إذا وجد أي منه في مياه التغذية ، وإذا احتوت المياه على بعض من قلوية البيكربونات ، فسوف يزال أيضاً الجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون المرتبط نصفياً ، فترتفع بالتالي قيمة الـ pH إلى ما فوق 8,8 عادة .

أجهزة التسخين النازعة للهواء : النماذج الحوضية ، النماذج الرذّاذة :

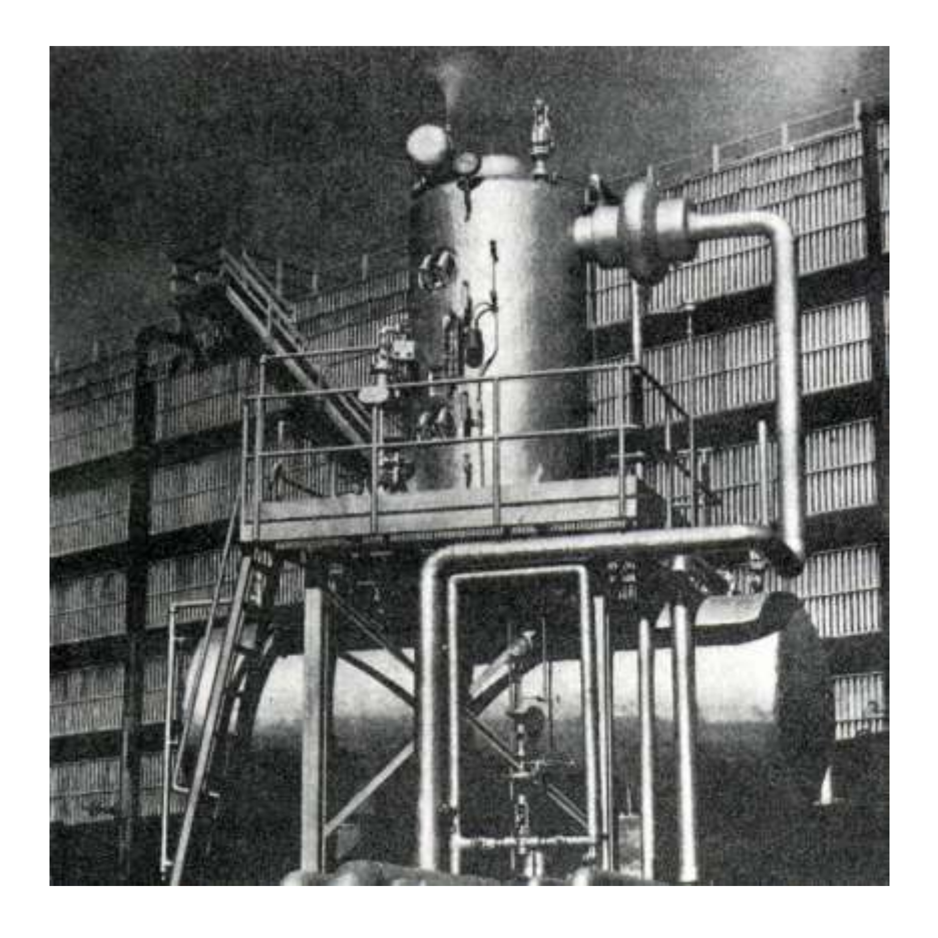
يسخن الماء في أجهزة التسخين النازعة للهواء من النماذج الحوضية عن طريق سقوط الماء على شكل قطرات فوق سلسلة من الأحواض المتراكبة في جو من البخار . وهذه الأجهزة موجودة في عدة تصاميم مختلفة ، منها تصاميم التيارات المضادة ، والمتقاطعة ، والنازلة . ففي تصميم التيار المضاد ، يتعاكس تيار البخار مع تيار الماء ، أي أن البخار الذي يندفع صعوداً خلال جهاز التسخين ، يتلامس مع الماء أثناء سقوطه مطراً عبر سلسلة الأحواض المتراكبة . وفي تصميم التيار المتقاطع ، تستخدم عادة مجموعتان من الأحواض المتقاطعة ، بحيث يندفع تيار البخار عرضانياً عبر المجموعة السفلى ، ثم صعوداً عبر المجموعة العليا . وفي تصميم التيار النازل ، ينحدر تيار البخار نزولاً عبر سلسلة أو مجموعة من الأحواض المتراكبة ، أو موازياً لتيار الماء النازل فوق الأحواض .

وفي نماذج الرذّ من أجهزة التسخين النازعة للهواء ، يجري عادة نزع الهواء من الماء بطريقة المرحلتين . وفي هذا التصميم يعمل البخار الداخل على رذّ الماء ، الذي نزع هواؤه جزئياً ، في المرحلة الأولى ، وبعد ذلك يعمل لتسخين الماء في المرحلة الثانية ، حيث يرش الماء الوارد من خلاله .

الصورة 4 . 11 . جهاز تسخين نازع للهواء من النموذج الرذّاذ مع حوض تخزين عمودي :



الصورة 5 . 11 جهاز تسخين نازع للهواء من النموذج الرذّاذ مع حوض تخزين أفقي :



التهوية Venting :

لا يمكن المغالاة في التوكيد على أهمية التنفيس المناسب لإطلاق الغازات إلى الجو . ويمكن إجراؤه :

(1) إلى الجو مباشرة .

(2) من خلال مكثف تنفيس إلى الجو .

في الطريقة الأولى ، يتبدد البخار ، وقد تبين بالتطبيق العملي ، أن العامل يميل كثيراً في هذه الحالات إلى سدّ المنفس لتوفير البخار . ولكن طريقة كهذه تؤدي إلى ربط الهواء ونزعه على نحو سيئ .

ولذلك ينبغي دائماً استخدام مكثف تنفيس ، لأنه يمكن بواسطته توفير أكبر جزء من الحرارة في البخار المستخدم لتنفيس الغازات ، ولا يتبدد من خلال أنبوب التنفيس ، إلا ذيلاً ضئيلاً نسبياً . وكمية الغازات المنطلقة ليست قليلة الأهمية . فمثلاً إذا أشبعت مياه التغذية بالهواء بدرجة حرارة 50 ف سوف تحتوي على حوالي7,9 ملل من الأكسجين و 14,5 من النتروجين في اللتر الواحد (انظر الجدول 8 ـ 3 في الفصل الثالث) . وإذا احتوى الماء أيضاً على 10 ppm من ثاني أكسيد الكربون الطليق , فإن هذا سيكون مساوياً لـ 5 مل / ل .

إن كل 1000جالوناً من هذه المياه ، سوف تطلق لدى مرورها من خلال جهاز نزع الهواء 1,06 قدماً مكعباً من الأكسجين ، و 1,94 قدماً مكعباً من النتروجين ، و0,67 قدماً مكعباً من ثاني أكسيد الكربون (إذا وجد بعض من قلوية البيكربونات ، فإن كمية ثاني أكسيد الكربون المنطلقة ستكون أكبر) ، أي بإجمالي قدره 3.67 قدماً مكعباً من الغازات ضمن الظروف القياسية (صفر مئوية وضغط 760 مم) . وسوف ترتفع هذه الكمية إلى حوالي 5 قدماً مكعباً من الغازات المنطلقة التي يجب كسحها من جهاز التهوية .

جميع هذه الغازات أثقل من البخار فالنتروجين أثقل منه بمرة ونصف المرة ، و الأكسجين أثقل منه بـ 1,8 مرة وثاني أكسيد الكربون بـ 2,4 مرة ولاشك في أن الغازات المذكورة تمتزج بسرعة في البخار ، بسبب ظروف الاضطراب في جهاز التسخين ، بعدئذٍ يتحرك البخار غير المتكثف ، مع محتواه من الغازات ، عبر المكثف حيث يتكثف معظمه ، وهكذا يسترد وحداته الحرارية عن طريق نقلها إلى مياه التغذية . ومن الواضح أنه يتبدد بعض البخار في تنفيس الغازات إلى الجو ولكن عند استخدام مكثف التنفيس ، يكون هذا التبديد ضئيلاً .

نزع الهواء من الماء البارد بالتفريغ :

بما أن ذوبانية الأكسجين ، والنتروجين ، وثاني أكسيد الكربون ، هي صفر عند درجة غليان الماء ، لذلك يمكن نزع الهواء من الماء البارد عن طريق تخفيف الضغط فوقه حتى يغلي . ويتم ذلك بتمرير الماء خلال جهاز خوائي لنزع الهواء . وعلى الرغم من إمكانية نزع الهواء بصورة كاملة بهذه الطريقة ، إلا أنها طريقة غير اقتصادية . وبدلاً من ذلك يكفي عادة تخفيف محتوى الأكسجين المنحل إلى رقم منخفض ، شبيه بدرجة التخفيف التي يحدثها جهاز التسخين المكشوف من نموذج الرش .ويمكن أيضاً أن يتغير المحتوى الثمالي من الأكسجين في مختلف التطبيقات .

وحيثما توجب استخدام الماء لأغراض التبريد ، وكان الالتقاط العرضي للحديد غير مهم أياً كان ، فإن نزع الهواء ينجز عادة بحيث تكون ثمالة الأكسجين أدنى بقليل من 0,3 مل / ل . ومن الواضح أن الماء إذا ما أشبع بالهواء المنحل بدرجة 60 ف مثلاً ، فسوف يمثل نزع الهواء إزالة ما يزيد عن 95 % من محتوى الأكسجين المنحل ، وبالتالي تخفيف تآكلية الماء إلى حد كبير جداً . وبما أن نزع الهواء يحدث نقصاً أيضاً في أي محتوى موجود من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، فإن الارتفاع الناتج في قيمة الـ pH ، سوف يخفف إلى حد أبعد ، من سرعة التآكل .

وفي حالة خطوط الأنابيب الطويلة القديمة ، المتآكلة درنياً ، فقد يؤدي نزع الهواء بدرجة عالية إلى التقاط الحديد ، الذي قد يثبت ، ولأسباب كثيرة أن وجوده أكثر مثاراً للاعتراض من التآكل . فلو قمنا بقص درنة ، ما تزال مبللة ، من مقطع حديث في أنبوب متآكل درنياً ، لاحظنا قرب المعدن مباشرة وميضاً منبعثاً من هيدروكسيد الحديدي الأخضر (هيدروكسيد الحديدي النقي أبيض اللون ، لكن هذا لابد أن يكون قد ترسب ضمن حالات خاصة خالية من الهواء ، كما يلاحظ عادة أن هيدروكسيد الحديدي يكون مخضراً ، ويتأكسد بسرعة إلى هيدروكسيد الحديد البني عند تماسه مع الجو) . يكون القلب الداخلي للدرنة فوق هذه الطبقة الرقيقة

من هيدروكسيد الحديدي أسود اللون ويتألف في معظمه من أكسيد الحديد الحديدي المميأ أما الغلاف الخارجي للدرنة ، فيتألف من هيدروكسيد الحديد ذي اللون البني المحمرّ .

لهيدروكسيد الحديدي ذوبانية يمكن فعلاً تقديرها ، أما هيدروكسيد الحديد ولكافة الأغراض العملية فغير ذواب . ومادام الماء ، الذي يحتوي على بعض الأكسجين المنحل ، ينساب عبر الأنبوب المتآكل درنياً ، فسوف لن يكون هيدروكسيد الحديدي ، أو الكربونات أو البيكربونات موجوداً في الماء ، لأن هذه المركبات سوف تتأكسد إلى أكسيد الحديد المميأ الغير ذواب ، حال وصولها إلى سطح الدرنة قد يطرد بعض من هذه الرواسب طبعاً وينقلها الماء ، ولكن إذا حدث ذلك ، فإنها ستكون معلقة وليست منحلة .

إذا نزع الهواء بصورة كاملة من المورد المائي ، فسوف لن يبقى فيه أكسجين لأكسدة مركبات الحديدي إلى أكسيد الحديد الغير ذواب ، وعندها سوف تدخل هذه المركبات إلى المحلول ويعرف هذا الفعل بـ (التقاط الحديد) ومن الواضح أيضاً أن هناك تأثير مختزل بين المعدن والأكاسيد المميأة بدرجة أعلى . يمكن لالتقاط الحديد من هذا النوع ، أن يحدث بسرعة أيضاً إلى عدة أجزاء في المليون كما يمكن للتهوية الجزئية للماء ، أو لنزع هوائه بدرجة مخفضة ، أن تتخلص بسرعة من التقاط الحديد .

ملاحظة :

يذكر أحد الباحثين كمثل على هذا إحدى البلديات ، حيث أدخلت مياه بئر خالية من الأكسجين إلى خطوط رئيسية متآكلة بالتدرن ، كانت قبل ذلك تنقل مياهاً سطحية مشبعة بالهواء تسببت بالتقاط شديد جداً للحديد . كانت مياه الحنفيات في مختلف قطاعات البلدية ، نقية تماماً وعديمة اللون عند سحبها ولكنها عند تركيدها بتماس مع الجو ، كانت تربدّ ، وتتحول إلى اللون الأصفر ، ثم ترسب هيدروكسيد الحديد البني المحمرّ المعروف . وأظهرت الاختبارات محتوى من الحديد يتراوح من 1 إلى أكثر من ppm 4 . ولا حاجة بنا لأن نذكر أن صبغ التثبيتات الخزفية ، وكل ما تلامس مع الماء كان سيئاً جداً . وعندئذٍ وضعت التهوية الجزئية موضع التنفيذ عن طريق إدخال الماء فوق سطح بئر نقية ، وتنظيف الخطوط الرئيسية بدفق الماء فيها خلال محابس إطفاء الحريق . فكانت الاستجابة فورية تقريباً ، فقد توقف التقاط الحديد خلال كامل الشبكة خلال 24ساعة ، باستثناء أنبوب رئيسي واحد

يؤدي إلى موضع معزول إلى حد ما ، وخلال 48ساعة توقف التقاط الحديد في هذا الأنبوب أيضاً .

وفـي الحـالات التـي تشـتمل علـى خطـوط رئيسـية طويلـة ، متآكلـة درنيـاً ، وحيث يكون التقاط الحديد غير مرغوب فيه ، ينبغي ألا تكون درجة نزع الهواء الواجب تطبيقها ، كبيرة بما يكفي لحدوث الالتقاط . يختلف إلى حد ما محتوى الأكسـجين الثمـالي الـلازم لـذلك فـي مختلـف الحـالات . اعتمـاداً علـى العوامـل المشترِكة ، ولكن ربما لا ينبغي له أن يتجاوز 1 مل / ل في أغلب الحالات . ومن الواضح أنه لابد من الأخذ بعين الاعتبار وجود أو غياب عسرة البيكربونات ، و pH الماء الذي نزع هواؤه جزئياً ، ودرجة حرارة وتآكلية الماء الذي لم ينزع هواؤه ، ومـا إذا كـان يمكـن أو لا يمكـن اسـتخدام مثبطـات التآكـل ، والاقتصـاديات المشتركة . ومن الواضح أيضاً أنه لا يجب ترك الماء ، بعد نزع هوائه إلى الدرجة المطلوبة ، على تماس مع أي كمية محسوسة من الهواء .

يتألف الجهاز الخوائي لنزع الهواء من غلاف فولاذي مغلق يتضمن :

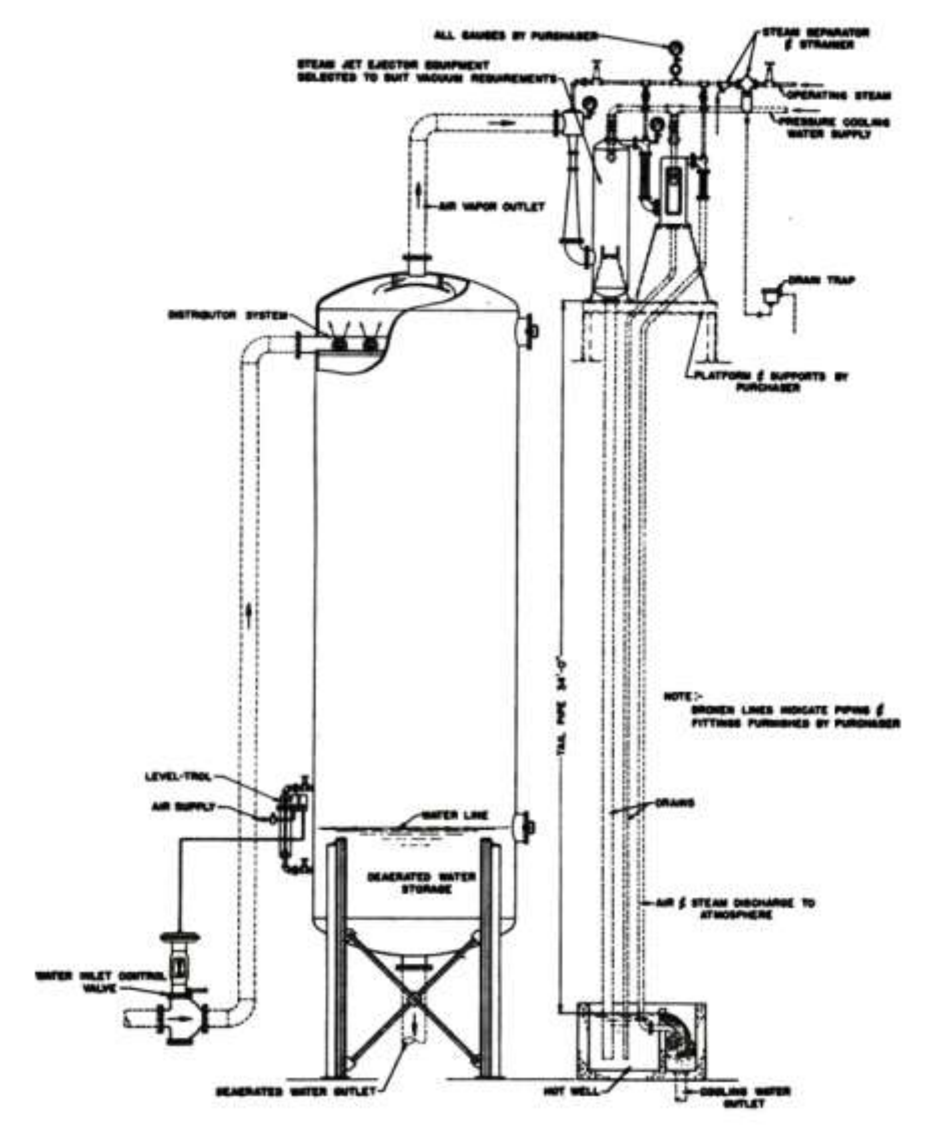
(1) سلسلة من أحواض متراكبة مؤلفة من ألواح خشبية .

(2) حشوة من أطواق راشيغ Raschig تركب عادة بحيث يمكن بواسطة الصبيب ، الحصول على ساق بارومترية . ويمكن على نحو أفضل ، الحصول على درجة التفريغ المطلوبة ، من أجل القدرات العالية بواسطة قاذفات البخار .

ويجـري عـادة تشـغيل اثنتـين أو ثلاثـاً منهـا فـي سلسـلة ، بضـغوط للبخـار تبلـغ 100 Psig . ويمكـن استخدام مضـخات التفريـغ إذا كانـت كميـات الميـاه المعالجة قليلة نسبياً .

وكما يظهر في الصورة 6 . 11 ، يتوزع الماء الداخل بالتساوي فوق سطح أحواض الألواح الخشبية أو حلقات راشيغ ، وينزل بالتساوي مطراً من خلالها . وبسبب السطوح الواسعة للماء المعرّض بواسطة الطبقات الرقيقة

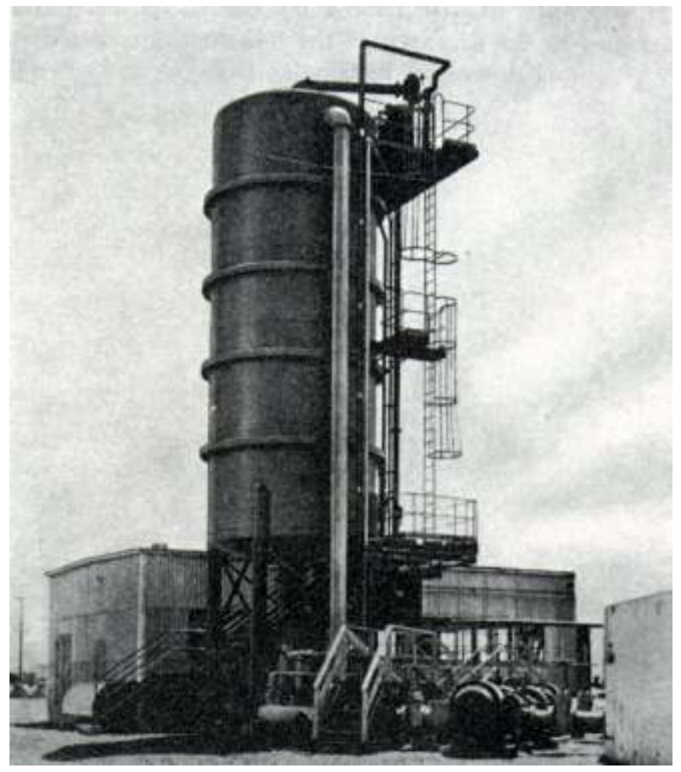
الصورة 6 . 11 جهاز خوائي لنزع الهواء .



والقطرات المتشكلة والذوبانيات الضعيفة للغازات في هذه الضغوط المنخفضة ، وضغوطها المنخفضة الجزئية في بخار الماء المتشكل عن طريق التبخر ، تتحرر الغازات وتسحب مع بخار الماء ، عبر مخرج هوائي . تستخدم المكثفات لتكثيف البخار من القواذف الرئيسية ، وتفرغ القواذف عبر مصارف فرعية بارومترية ، بينما تفرغ الغازات المتحررة عبر أنبوب مفتوح للهواء والبخار .

الصورة 7 . 11 خوائي لنزع الهواء في مصنع كيميائي في كليفورنيا

طاقته 300.000 جالون / سا .



تصل معدلات جريان الماء البارد عادة إلى 40 . 50 جالون / د / قدم^2 من مساحة المقطع العرضي ، أما معدلات جريان الماء بدرجة 90 ف تقريباً أو أكثر ، فقد تزداد كثيراً فتصل إلى ما يقارب ضعفها في الماء البارد . وكما ذكرنا سابقاً فإن أجهزة نزع الهواء الخوائية تستخدم ، إضافة إلى استخداماتها ، التي سنأتي على وصفها في الفصل 17 ، لإزالة ثاني أكسيد الكربون المتشكل من البيكربونات في المرحلة الأولى من طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات . وتظهر في الصورة 11 .7 منشأة خوائية لنزع الهواء .

الفصل الثاني عشر

أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية
Chemical Feeders

إن أقدم طريقة لمعالجة المياه بالمواد الكيميائية ، كانت تتم بالطريقة المتقطعة ، وفيها كانت تضاف كمية موزونة من المواد الكيميائية إلى حجم معروف من الماء في خزان ثم تجري عمليات : المزج بالتحريك ، والترسيب ، والترشيح . وكانت تستخدم في التطبيق العملي عادة ثلاثة خزانات ، بحيث عندما يكون أحدها مملوءاً وقيد المعالجة ، و يكون الثاني قيد الترسيب ، والثالث قيد السحب والترشيح . يمكن للطريقة المتقطعة أن تقدم نتائج ممتازة , وعيبها أن معداتها كبيرة ، تحتاج إلى حيز أرضي واسع ، ولكلفة تشغيل عالية . ولذلك استبدلت هذه الطريقة بشكل كامل تقريباً ، بطرق المعالجة المستمرة ، التي تضاف فيها المواد الكيميائية إلى تيار الماء الجاري عبر أنبوب ، أو خزان ، أو حوض . وباستخدام بعض من المواد الكيميائية الذوابة ، كالشب ، كانت تمارس طريقة بسيطة قديمة للتغذية المستمرة عن طريق تعليق كيس ، يحتوي على المادة الكيميائية ، في مدخل مسيل الماء إلى خزان أو حوض الترسيب . وقد اكتشف أن طريقة التغذية بالكيس تكون محدودة في استخداماتها ، وتبديدها ، وكلفتها ، وعجزها عن التحكم الدقيق . أما التطبيق الحديث فيقضي بتغذية الماء بالمواد الكيميائية أو غيرها من المواد الأخرى ، سواء كانت من طبيعة ذوابة أو غير ذوابة ، صلبة أو سائلة أو غازية ، بواسطة أدوات آلية تعرف تحت اسم أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية (وتدعى أيضا على نحو شائع بأجهزة التغذية أو التلقيم) .

وتقسم هذه الأجهزة عموماً إلى :

(1) أجهزة التغذية السائلة .

(2) أجهزة التغذية الجافة .

(3) أجهزة التغذية الغازية .

ويمكن الإمعان في تقسيم أكثر هذه النماذج إلى حد أبعد ، إلى نماذج توزيع متناسبة ومعدلات ثابتة . وفيما يتعلق بالأقسام الرئيسية ، فإن بعضاً من أجهزة التغذية السائلة ، مصممة للتغذية بالمحاليل أو بالمزائج المعلقة ، في حين صممت النماذج الأخرى للتغذية بالمحاليل فقط ، وصممت أجهزة التغذية الجافة للتغذية بالمواد الجافة ، سواء كانت ذات طبيعة ذوابة أو غير ذوابة ، وصممت أجهزة التغذية الغازية ، للتغذية بالغازات الذوابة وصممت نماذج التوزيع المتناسبة ، من أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية ، للتغذية بجرعات تتناسب مع مختلف معدلات جريان الماء ، وصممت نماذج الانطلاق والتوقف ذات المعدلات الثابتة ، لتغذية جريان مائي ذي معدل ثابت من المادة الكيميائية ، وللبدء بالتغذية أو توقيفها مع بدء جريان الماء أو توقيفه . ويمكن تعديل كلا النموذجين ضمن نطاق واسع تقريباً ، فيما يتعلق بكميات المواد الكيميائية ، التي تلقم لوحدة الحجم من الماء .

أولاً : أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية : نموذج التغذية السائلة :

نأتي في هذا الفصل على وصف أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية من النموذج السائل . وعلى الرغم من وجود تصاميم أخرى فقد تكون هذه النماذج الأربعة كافية لتوضيح المبادئ الأساسية . وهي :

1ً . <u>أجهزة التغذية الكهربائية الكيميائية :</u>

هذه الأجهزة مناسبة للتغذية بمحاليل المواد الكيميائية الذوابة ، أو بمستعلقات المواد الكيميائية الغير ذوابة أو الذوابة قليلاً . ومن بين المواد الكيميائية الذوابة كبريتات الألمنيوم وكربونات الصوديوم والصود الكاوي وكبريتات الصوديوم والفوسفات ، الخ ، ومن بين المواد الكيميائية الغير ذوابة أو الذوابة قليلاً : الكلس

، والكلس الدولوميتي ، والكلس المطفأ ، والكلس الدولوميتي المطفأ ، والمغنيسيا ، الخ.

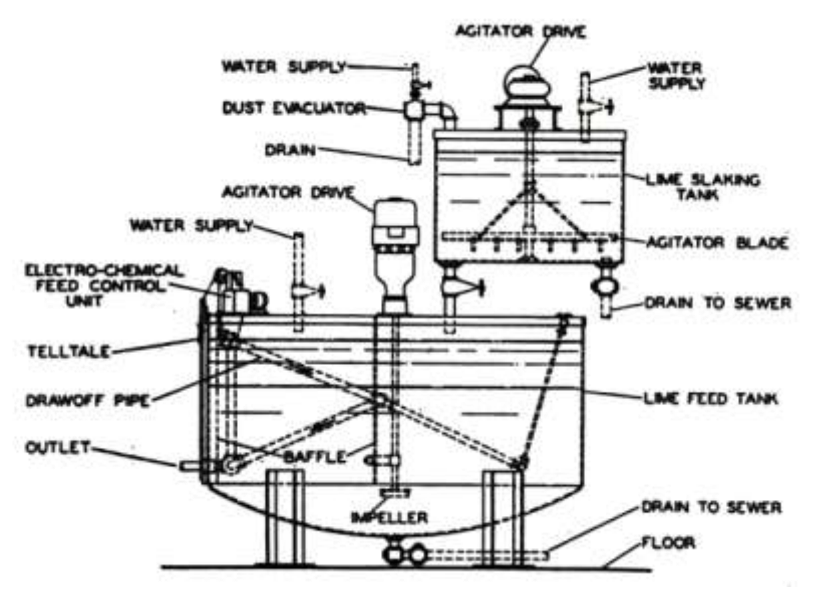
عندما تستخدم المواد الكيميائية الذوابة ، يستخدم غالباً خزان إذابة منفصل ، ويركب فوق خزان التغذية . ويفيد هذا لاستمرار التشغيل بشكل عملي ، لأنه يمكن تعويض المحلول ، قبل أن يحتاج خزان التغذية إلى التعبئة ، بحيث يكون المحلول جاهزاً للهبوط إلى جهاز التغذية عند الحاجة . فإذا توقفت التغذية عندما نحتاج إلى التعبئة ، فإنه يمكن الاستغناء عن حوض الإذابة وإعداد المحلول في خزان التغذية ، باستخدام شبكة هوائية للتحريك أو سلة إذابة تعلو الجزء العلوي من خزان التغذية .

وعند استخدام CaO ، أو CaO.MgO ، فمن الضروري إطفاء المادة قبل إضافتها إلى خزان التغذية . ويستخدم في هذه الحالات خزان إطفاء مستقل يعلو خزان التغذية . وكذلك في مستعلقات المواد الكيميائية اللاذوابة أو القليلة الذوبان للتغذية ، يتوجب تزويد خزان التغذية بمحرك للتغذية بمستعلق منتظم . تظهر الصورة 1 ـ 12 جهازاً كهربائياً كيميائياً للتغذية ، مزوداً بخزان للإطفاء ، وهذا مزود بدوره بمحرك .

تتألف وحدة التحكم في التغذية من محرك كهربائي صغير من نموذج ثابت السرعة ، تدور عند تشغيله بكرة الكبل ، فينحل بذلك كبل مربوط إلى أنبوب تفريغ في خزان التغذية الكيميائية . وفي جهاز التغذية من نموذج التوقف والانطلاق ، ذي المعدلات الثابتة ، يعمل المحرك باستمرار أثناء جريان الماء ، ويتوقف أو ينطلق في وقت واحد ، مع توقف أو انطلاق جريان الماء ، وهكذا تكون التغذية بالمادة الكيميائية عند نسبة ثابتة قابلة للتعديل وفقاً لنسبة محددة من جريان الماء . ينجز انطلاق وتوقف الجريان المتوافق للماء والمادة الكيميائية عادة بواسطة عوامات تركب على مستويين في خزان أو حوض المعالجة ، بحيث ينطلق

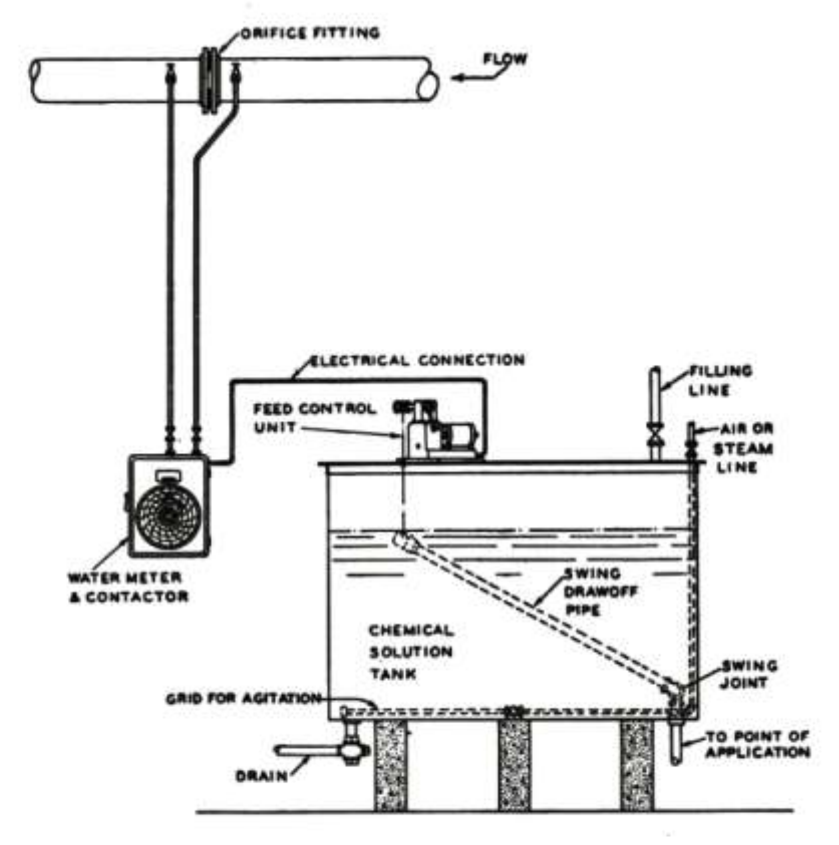
الجريان عند الوصول إلى المستوى المنخفض ويتوقف عند الوصول إلى المستوى العالي .

الصورة 1 . 12 جهاز للتغذية الكيميائية الكهربائية من أجل CaO مع صهريج لإطفاء لجير فوق صهريج التغذية .



وفي جهاز التغذية ذي التوزيع المتناسب ، تربط وحدة التحكم بالتغذية كهربائياً بقرص ، وهو نموذج لمقياس السرعة أو التدفق الفوهي ، يوضع في خط المياه الخام (انظر الصورة 2 . 12) . عندما تمر كل وحدة حجم من الماء عبر المقياس ، يتم تشغيل المحرك لتدوير بكرة الكبل بواسطة تروس لتخفيض السرعة ، وساق ذي لسين وسقاطة لحلّ طول محدد من الكبل ، وهكذا ينخفض أنبوب التصريف إلى عمق محدد في خزان التغذية . عندما يكون الكبل

الصورة 2 . 12 . جهاز للتغذية الكيميائية الكهربائية من أجل الكيماويات اللذوابة



قد انحل ، يتوقف المحرك حتى تمر وحدة حجم أخرى من الماء عبر المقياس . ولذلك يعتمد العمق الذي يصل إليه أنبوب التصريف في صهريج التغذية على الزمن الذي يستغرقه مرور عدد معين من وحدات الحجم من الماء عبر المقياس وبناء عليه يجري المحلول الكيميائي بواسطة الثقالة عبر المخرج ، بمعدل يتناسب مع معدل جريان المياه الخام عبر المقياس . وبما أن خفض أنبوب التصريف ، يتوالى الواحد بعد الآخر ، فإن التدفق الطفيف للمحلول أو المستعلق الكيميائي عند الضغوط الخفيفة جداً والمتيسرة ، يميل إلى تسوية التفاوتات الطفيفة في التغذية . ومع وجود وحدة التحكم يكون معدل حل الكبل قابلاً للتعديل عن طريق مسمار تثبيت وتعديل قرص مدرج بالإبهام .

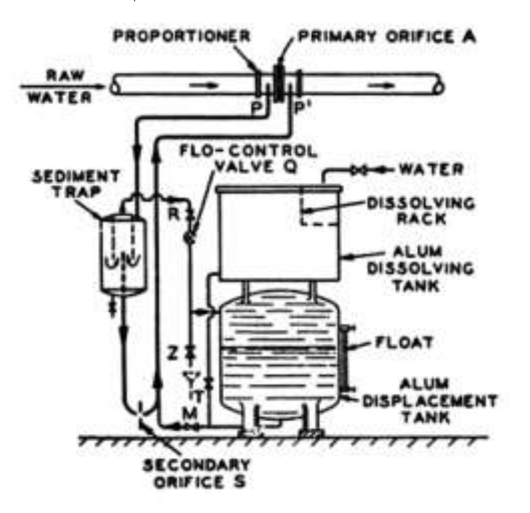
وعندما تتوجب التغذية بمادة مخثرة أو قلوية أو (الكلس) ، فمن الضروري إجراء التغذية من صهاريج منفصلة . وفي هذه الحالات نحصل على الترتيب الأكثر مرونة عن طريق استخدام مكبح مستقل فوق كل صهريج تغذية ، مع كلا وحدتي التحكم ، اللتين تشغّلان من المقياس نفسه . يستخدم هذا النموذج من أجهزة التغذية ، على نطاق واسع ، للتغذية بالمواد الكيميائية في طريقتي صودا على البارد ، وطريقة صودا على الساخن لتيسير الماء . وفي طريقة صودا الباردة ، وعند استخدام الكلس ورماد الصودا ، فإنهما يمزجان وتتم التغذية بهما من صهريج واحد ، وتتم التغذية بالمادة المخثرة من صهريج منفصل . لا نحتاج إلى مادة تخثير في طريقة صودا الساخنة ، وفي التطبيق العملي يمزج عادة الكلس ورماد الصودا ، وتتم التغذية بالمزيج من صهريج واحد وعند استخدام الفوسفات أيضاً ، فإنها تحل وتلقم من صهريج منفصل .

2 . أجهزة التغذية بمحلول ضغطي :

هذه الأجهزة ، هي من نمط التوزيع المتناسب وتستخدم على نطاق واسع للتغذية بمواد ذوابة ، ككبريتات الألمنيوم ، وبيكربونات الصوديوم ، وكربونات الصودا ، والصودا الكاوية ، وسيليكات الصوديوم وكبريتات الصوديوم ، والفوسفات الخ . ولا يمكن استخدامها للتغذية بمستعلقات المواد اللاذوابة أو الذوابة قليلاً فقط ، كالطين و المطفأ ، الخ .

تظهر مبادئ التشغيل في الصورة 3 ـ 12 ، التي تمثل جهاز التغذية بالمحلول الضغطي للشب . وعند إعادة شحن هذه الأجهزة يتم أولاً إعداد محلول ذي تركيز معين ، في صهريج حلّ الشب . وعندئذٍ يفتح الصمامان T و Z ، فيدخل المحلول الموجود في صهريج الحل ، أسفل صهريج استبدال الشب ، ويزيح صعوداً وعبر الصمام Z إلى المصرف ، حجماً مكافئاً من الماء يقع فوق المحلول الكيميائي الأثقل . هناك في أنبوب البيان الزجاجي ، على جانب حوض

الصورة 3 . 12 جهاز التغذية بالمواد الكيميائية من نموذج المحلول الضغطي للتغذية بكبريتات الألمنيوم



الاستبدال (أو التغذية) ، عوامة زجاجية ملونة تعوم في المحلول الكيميائي ، لكنها تغوص في الماء ، وتعمل لتدل على المستوى العلوي للمحلول . فعندما ترتفع العوامة الزجاجية تقريباً إلى أعلى أنبوب البيان الزجاجي ، ينغلق الصمامان Z و T ، وينفتح الصمامان R و M وهكذا يستأنف جهاز التغذية عمله .يوضح لوح بفتحة ، الفتحة الابتدائية A ، (أو أنبوب فنتوري Venturi Tube) في خط أنابيب الماء الخام . يبزل الأنبوب P لجهة الضغط الأعلى ، والأنبوب P̃ لجهة الضغط الأدنى . ولذلك يتحول جريان الماء ، بالتناسب مع تغيرات جريان الماء الخام . عبر الأنبوب P . يعبر الجزء الأكبر من هذا الجريان مصيدة الرسابة والفتحة الثانوية S ، ويعود إلى الخط الرئيسي لأنبوب الماء الخام عبر الأنبوب P̃ يجري جزء بسيط من الماء الجاري عبر الأنبوب P عبر أعلى مصيدة الرسابة ، وعبر صمام التحكم بالجريان Q ، إلى الجزء الأعلى من حوض الاستبدال فيزيح نزولاً ، عبر M ، حجماً مكافئاً من المحلول الكيميائي . وبهذا يدخل المحلول الكيميائي المستبدل الأنبوب P̃ ، حيث يتم تخفيفه وتغذيته

للماء الخام ، بواسطة تيار من الماء ، الذي يعبر الفتحة الثانوية .S يعمل صمام التحكم بالجريان Q ،الذي قد يركب للتغذية بأية جرعة لازمة ، على تنظيم كمية المحلول الكيميائي ، الذي تتم التغذية به .

2ً . أجهزة التغذية الكيميائية من النموذج المرجلي :

إن هذه الأجهزة محصورة عادة في استخداماتها للتغذية بمادتين كيميائيتين فقط : الشب اللامائي أو البلوري (شب الأمونيوم أو البوتاسيوم) ، وكربونات الصوديوم البلورية أو اللامائية .

وشب البوتاسيوم $Al_2(SO_4)_3.K_2SO_4. \quad 24H_2O$ أو شبّ الأمونيوم $(Al_2SO_4)_3.(NH_4)_2SO_4.24H_2O$ يكلف على أساس مكافئ ، حوالي أربعة أضعاف كبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$.

وكربونات الصوديوم المائية $NaCO_3.10H_2O$ تكلف على أساس مكافئ حوالي ضعفي كربونات الصوديوم اللامائية $NaCO_3$.

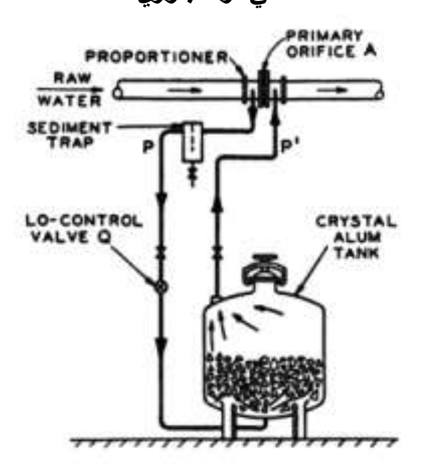
ولذلك تكون تكاليف التشغيل في أجهزة التغذية الكيميائية من النموذج المرجلي أعلى بحوالي ضعفين إلى ثلاثة أضعافها في أجهزة التغذية الكيميائية من النماذج الأخرى .

ولهذا السبب ، يستخدم هذا النموذج من الجهاز عادة ، عندما تكون كميات المواد الكيميائية اللازمة للتغذية يومياً قليلة ، ودرجة الدقة المطلوبة غير حرجة ، والكلفة الأولية هي الاعتبار الرئيسي . وكما يظهر في الصورة 5ـ 12 ، فإن لوحاً ذا فتحة في خط أنابيب المياه الخام ، يكوّن تفاضلاً في الضغط ، بحيث تتحول كمية قليلة من بخار الماء بواسطة الأنبوب P إلى قاع الوعاء ، وينزاح حجم مماثل من المحلول الكيميائي من أعلى الوعاء بواسطة الأنبوبَP ، الذي يقوم بتوصيله إلى الأنبوب الرئيسي للماء الخام ، أو إلى جهة الضغط المنخفض للّوح ذي الفتحة .

عند شحن الوعاء الذي يجب إتمامه قبل أن تكون الشحنة السابقة قد استنفذت تغلق صمامات الإيقاف في الأنبوبين P وَP ، ويفتح صمام التصريف في قاع الوعاء ، ويحل المقرن ، وينزع غطاء الشحن . وهنا ينصرف بعض المحلول إلى الهدر ، حتى يتوفر حيز يكفي لشحن المادة الكيميائية التي يتم عندئذٍ إدخالها إلى الوعاء . فإذا قيست هذه المادة على نحو دقيق ، فإن مستوى السائل يجب أن يرتفع تقريباً إلى أعلى الوعاء . وعندئذٍ ينفتح صمام الإيقاف في الأنبوب P ، وعندما يصل مستوى السائل إلى الأعلى ، يعاد وضع الغطاء ، ويثبت بإحكام بواسطة المقرن . ويفتح صماما الإيقاف في الأنبوبين P وَP على مداهما .

يتم تنظيم كميات المادة الكيميائية المغذية بواسطة التحكم بالجريان Q . وسوف تظهر معايرات المياه الخام عند مقارنتها بمعايرات الماء المعالج كمية المادة الكيميائية المغذية ، وما إذا كان يتوجب زيادة أو تخفيف الجريان عبر صمام التحكم .

الصورة 4 . 12 جهاز تغذية كيميائي من النموذج المرجلي من أجل البوتاس أو شب الأمونيا الكتلي أو البلوري .



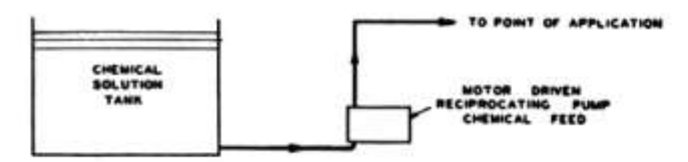
4 ً. أجهزة التغذية الكيميائية بالضغط الترددي :

هذه الأجهزة متوفرة في نموذجين : نموذج التوزيع المتعادل ، ونموذج التوقف والانطلاق ذي المعدل الثابت . وهي ملائمة أكثر للتغذية بالمواد الكيميائية الذوابة ، لكنها استخدمت إلى مدى محدود للتغذية بالمستعلقات . ويستخدم هذا النموذج للتغذية بجرعات مقاسة من المواد الكيميائية ، ولضخها إلى نقاط العمل عند أي ضغط مطلوب . نحصل على قياس (ضخ) المحلول الكيميائي بواسطة مكبس يدار بمحرك ، ويشغل في اسطوانة بعدد محدد من الضربات في الدقيقة . ويتم إدخال التعديلات على مقدار التغذية بالمحلول عن طريق تغيير شوط المكبس . وينجز هذا بتحريك ناقل حركة ذراع الغاطس على امتداد شقٍّ في عجلة الإدارة ، وتثبيته في الوضع المرغوب . ويمكن الوصول إلى زيادة أو تخفيف الجرعة على التوالي بالابتعاد أو الاقتراب من مركز عجلة الإدارة .

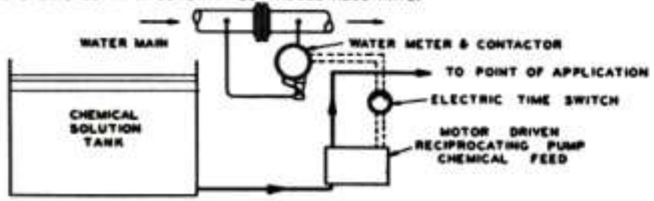
في حالة استخدام جهاز التغذية من نموذج الانطلاق والتوقف ذي المعدل الثابت ، يربط المحرك كهربائياً ، بحيث ينطلق ويتوقف في الوقت نفسه ، الذي ينطلق ويتوقف فيه جريان الماء . وعند استخدامه كجهاز تغذية للتوزيع المتعادل ، يوضع مقياس مزود برأس تماس كهربائي في خط المياه الخام . وكلما مرت وحدة حجم من الماء عبر المقياس ، يحدث تماس ، يسبب تدوير المحرك ، وعندئذٍ يشتغل المحرك حتى يقوم مفتاح توقيت كهربائي مركب لتحديد فترة التشغيل بفصل الدارة ، وتوقيف التغذية . وتتكرر هذه الدورة على فترات قصيرة ويمكن في الجريان الكامل مثلاً تحقيق تماسات متتالية بفاصل 30 ثانية تقريباً ، وتشغيل المحرك لمدة 20 ثانية تقريباً بعد كل تماس . وهذه التدفقات الطفيفة ، تسوى طبعاً في معدات ، أو أحواض ، أو صهاريج المعالجة ، التي تلقّم بالمواد الكيميائية .

الصورة 5 . 12 نموذج الضخ الترددي من أجهزة التغذية الكيميائية

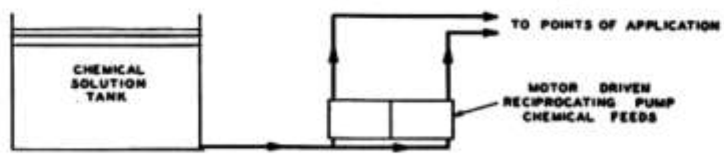
رسوم تخطيطية للجريان .



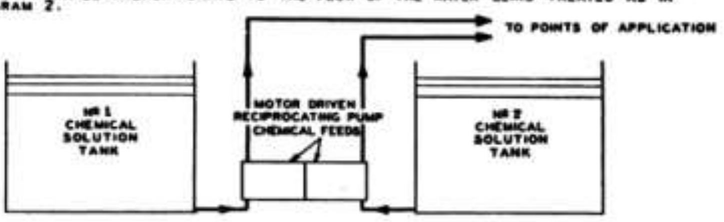
CONSTANT RATE RECIPROCATING PUMP CHEMICAL FEED. ADJUSTABLE.
FOR FEEDING CHEMICALS AT A CONSTANT BUT ADJUSTABLE RATE.



2. PROPORTIONATING RECIPROCATING PUMP CHEMICAL FEED. ADJUSTABLE.
FOR FEEDING CHEMICALS AT A RATE PROPORTIONAL TO THE RATE OF FLOW OF THE WATER BEING TREATED.
PRINCIPLES OF OPERATION: THE METER ON THE WATER LINE HAS AN ELECTRICAL CONTACTOR WHICH ESTABLISHES AN ELECTRIC CIRCUIT AFTER EACH UNIT VOLUME OF WATER HAS PASSED THROUGH THE METER. THIS STARTS THE MOTOR DRIVER RECIPROCATING PUMP CHEMICAL FEED AND THIS CONTINUES THROUGH A DEFINITE TIME INTERVAL AND THEN STOPS UNTIL ANOTHER UNIT VOLUME OF WATER HAS PASSED THROUGH THE WATER METER. THE TIME SWITCH, WHICH IS ADJUSTABLE, GOVERNS THIS TIME INTERVAL.



3. RECIPROCATING PUMP CHEMICAL FEEDS. ADJUSTABLE.
FOR FEEDING ONE CHEMICAL TO 2 OR MORE POINTS OF APPLICATION.
THESE FEEDS MAY BE ARRANGED TO OPERATE AT A CONSTANT RATE AS IN FLOW DIAGRAM 1 OR TO OPERATE AT RATES PROPORTIONATE TO THE FLOW OF THE WATER BEING TREATED AS IN FLOW DIAGRAM 2.



4. RECIPROCATING PUMP CHEMICAL FEEDS. ADJUSTABLE.
FOR FEEDING SIMULTANEOUSLY 2 OR MORE CHEMICALS TO ONE OR MORE POINTS OF APPLICATION.
THESE FEEDS MAY BE ARRANGED TO OPERATE AT A CONSTANT RATE AS IN FLOW DIAGRAM 1 OR TO OPERATE AT RATES PROPORTIONATE TO THE FLOW OF THE WATER BEING TREATED AS IN FLOW DIAGRAM 2.

وكما يظهر في الرسم التخطيطي ، في الصورة 5 ـ 12 يجري محلول التغذية الكيميائي ، بواسطة الثقالة ، من صهريج الإذابة إلى جهاز التغذية .

تختلف صهاريج الإذابة الكيميائية في الحجم تلبية للاحتياجات ، وتعد المحاليل بتركيز محدد عن طريق حل الكميات الموزونة من المواد الكيميائية في حجم محدد من الماء . في العادة يكون المحلول بتركيز 5% ، ولكن تستخدم ، مع بعض المواد الكيميائية ، محاليل أعلى تركيزاً . وتوضح هذه الرسوم

التخطيطية للجريان أيضاً تصاميم التوزيع المتعادل والمعدل الثابت ، وتصاميم التغذية بواحدة أو أكثر من المواد الكيميائية إلى واحدة أو أكثر من نقاط العمل . وعند استخدام مادتين كيميائيتين للتغذية ، يدار عادة كلا جهازي التغذية بواسطة المحرك نفسه . وإذا استخدمت أجهزة تغذية مدارة على نحو منفصل ، تربط الوحدات المنفصلة إلى أجهزة التحكم الكهربائية نفسها .

ثانياً . أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية : النموذج الجاف :

في التصاميم السابقة لأجهزة التغذية الكيميائية السائلة ، تتراوح السعة بالشحنة ، في الحجوم القياسية المستخدمة عادة ، من حوالي 25 ليبرة إلى حد أقصى مقداره 1400 ليبرة تقريباً . وفي مستعلقات التغذية ، لا يزيد التركيز المستخدم عموماً عن 5% وفي مواد التغذية الكيميائية مثل كبريتات الألومنيوم ، وكربونات الصوديوم الخ . يكون التركيز عادة 5 % ، وقلما يتجاوز 10% . ولهذا السبب ، عندما تكون كميّات المواد الكيميائية اليومية اللازمة للتغذية كبيرة جداً ، يحتاج النموذج السائل من أجهزة التغذية الكيميائية ، باستثناء النموذج المرجلي ، إلى خزانات كبيرة على نحو غير ملائم .

ملاحظة :

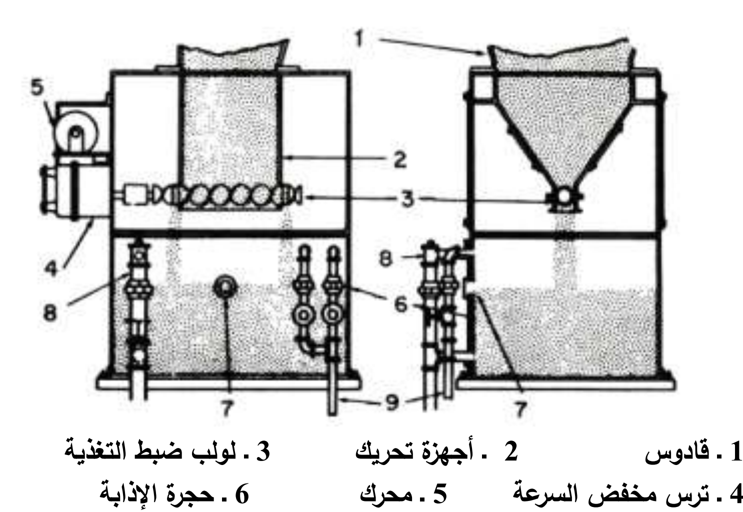
يتم بناء جهاز التغذية الكيميائية عادة على أساس شحنة واحدة يومياً أو على أساس شحنة واحدة في الدور ، مع عامل أمان معقول عادة ، لأنه من الواضح أن لا تستهلك شحنة ، ولا ينبغي لها أن تستهلك بصورة كاملة ، قبل إضافة الجزء الآخر اللازم من الشحنة . وحيث تختلف الشحنات أيضاً يجب أن تبنى السعة على أساس الحد الأقصى ، وليس على أساس معدل الجرعة التي قد نحتاج إليها ، لأنه يؤدي إلى ضبط أفضل ، إذا أمكن تجديد الشحنة في أوقات محددة .

يحتوي القدم المكعب من محلول أو مستعلق 5 %على أكثر بقليل من 3 ليبرة من المادة الصلبة ، بينما يزن قدم مكعب واحد من الكلس المطفأ من 25 ـ 50 ليبرة ، ومن كبريتات الألومنيوم 38 . 45 ليبرة ، ومن كربونات الصوديوم من 34 . 52 ليبرة . ومن الواضح إذن ، أن حيز الشحن في جهاز التغذية الكيميائية الجافة

يجب أن يكون فقط من حوالي $\frac{1}{8}$ إلى $\frac{1}{16}$من مثيله في أجهزة التغذية السائلة من السعة نفسها .

إن النماذج الجافة من أجهزة التغذية الكيميائية ، صممت أصلاً لإنقاص المتطلبات الحيزية ، ولذلك كانت تستخدم عادة فقط عندما تكون الحاجات الكيميائية اليومية كبيرة جداً ، ولهذا السبب ، ليس هناك خط واضح للتمييز على أساس كميات المواد الكيميائية المستعملة ، بين النموذجين الجاف والسائل من أجهزة التغذية الكيميائية ، لأن أجهزة التغذية الكيميائية الصغيرة من النموذج الجاف تتجاوز ، في قدرات التغذية الساعية ، قدرات كثير من أجهزة التغذية الكيميائية من النمط السائل . ومع ذلك تستخدم عادة أجهزة التغذية الكيميائية من النموذج الجاف على نطاق واسع، في المنشآت الكبيرة جداً لمعالجة المياه تكون المواد الكيميائية اللازمة كبيرة الحجم .

الصورة 6 . 12 . رسم تخطيطي للجريان . جهاز تغذية كيميائي من النموذج الحجمي .



1 . قادوس 2 . أجهزة تحريك 3 . لولب ضبط التغذية
4 . ترس مخفض السرعة 5 . محرك 6 . حجرة الإذابة
7 . فتحة تفريغ 8 . منفذ الفائض 9 . الإمداد بالماء

وعلى الرغم من أن أجهزة التغذية الكيميائية تبنى في عدد من التصاميم المختلفة ، إلا أنها يمكن تقسيمها عموماً إلى نماذج حجمية ونماذج وزنية , وفي الصورة 6 ـ 12 يظهر مخطط الجريان فيها مع منظرين جانبي وجبهي . وكما يظهر في هذين المنظرين ، يحتوي الجزء العلوي على قادوس المواد الكيميائية، ولولب لضبط التغذية في أسفل القادوس يدار بمحرك .

يشحن القادوس بالمادة الكيميائية الجافة ، وهو مزود بأجهزة تحريك من نموذج الرق المتذبذب ، والذي يؤمن ، عن طريق منعه حدوث التراص والتقوس ، جرياناً حراً للمادة الكيميائية إلى أداة التغذية في أسفل القادوس . يمكن عند الحاجة زيادة سعة القادوس عن طريق قادوس إضافي يركب فوق القادوس الأول .

يقع في أسفل القادوس لولب ضبط التغذية ، الذي يفرغ ، عن طريق جمعه بين الفعل الدوراني والحركة المحورية إلى الوراء والأمام ، المادة الكيميائية بالتبادل بين كل من طرفيه . وبينما يقوم نصف اللولب بتفريغ المادة الكيميائية ، يتم تنظيف النصف الآخر عن طريق التلولب عبر المادة . يضبط عمل لولب التغذية اللولبي هذا عن طريق قابض آلي في ترس مخفض السرعة ، الذي يدور بسرعة ثابتة . وبتدوير الأكرة لتعديل عداد التغذية ، يتهيأ القابض ليشغل جزءاً من كل دورة ، وهكذا يتعشق القابض من أجل ربع دورة عند معدل تغذية مقداره 25 % من الحد الأقصى .

وترس مخفض السرعة يُدار بسير بواسطة محرك مغلق . ويمكن الحصول على مدى تشغيل واسع ، يوافق التغيرات الفصلية في احتياجات التغذية ، عن طريق مجموعات بسيطة من البكرات التي تسمح بأربع تغيرات في المعدلات القصوى للتغذية . وعندئذٍ يمكن تعديل معدل التغذية على مدى 20 إلى 1 بواسطة ضبط الأكرة ، ويظهر العداد انتظام التغذية .

تتفرغ الجرعات المقاسة من المادة الكيميائية من لولب ضبط التغذية إلى حجرة الإذابة تحته ، حيث تمزج بسرعة ، وتحرك بالماء ، لتشكيل محلول أو مستعلق (إذا كانت مادة التغذية غير ذوابة أو ضعيفة الذوبان) ذي تركيز محدد. ويمكن بعدئذٍ إيصال هذا المحلول أو المستعلق الكيميائي إلى نقطة العمل بواسطة الجريان بالثقالة ، أو بواسطة الضخ الكيميائي .

في النماذج الوزنية من أجهزة التغذية الكيميائية الجافة ، تعمل بعض التصاميم بوزن وحدة الشحنات على فترات متتالية وتفريغها إلى حجرة الإذابة ، أو في حالة الكيميائي إلى أداة الإطفاء . وتعمل التصاميم الأخرى عن طريق تحميل سيل من المادة الكيميائية الجافة فوق حزام نقّال ، معلق فوق ميزان عند المعدل نفسه الذي تتفرغ فيه المادة الكيميائية من الحزام إلى حجرة الإذابة ، ويعمل الميزان طبعاً لتنظيم جريان الشحن ، بحيث يحافظ على وزن المادة الكيميائية فوق الحزام الدوار عند أي ضبط مطلوب .

وعلى الرغم من عدم وجود واضح للتمييز بين قدرات النموذجين الوزني والحجمي من أجهزة التغذية الكيميائية الجافة فإن النماذج الوزنية تستخدم عادة ، على نطاق واسع ، حيث تكون كميات المواد الكيميائية اللازمة للتغذية كبيرة جداً . وبمقدار ما يتعلق الأمر بقواديس المواد الكيميائية وخزانات الإذابة ، فإن هذه تشبه إلى حد كبير مثيلاتها في النموذج الحجمي ، لكنها تكون أكبر منها عادة .

ثالثاً . أجهزة التغذية بالمواد الكيميائية الغازية :

الغازات التي يمكن أن تستعمل في معالجة الماء هي :

1 . الكلور :

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

يستخدم الكلور على نطاق واسع في معالجة المياه من أجل تأثيره المعقم على شتى المتعضيات المجهرية , الجراثيم المرضية وغير المرضية ، والطحالب ، والفطور ، وجراثيم الحديد والمنغنيز (كرينوذركس) ، وجراثيم الكبريت الخ ، ويستخدم أيضاً لأكسدة المادة العضوية ، أو اللون أو بيكربونات الحديدي ، أو مختثر الحديد (كبريتات الحديدي المعالجة بالكلور) ، أو الثمالات البسيطة من كبريت الهيدروجين . وحيثما نحتاج إلى كمية ملحوظة من الكلور ، فإن شراءها اقتصادي أكثر على شكل اسطوانات فولاذية سعة نصف أو واحد طناً (وزن صافي) .

ملاحظة :

حيثما تكون احتياجات الكلور بسيطة نسبياً ، تستخدم غالباً المعالجة بهيبوكلوريت الصوديوم . وهي مواد صلبة ، تذوب بسهولة في الماء ، وقد تضاف غالباً مع مواد كيميائية أخرى ، من أحد أجهزة التغذية الكيميائية من النموذج السائل . عند استخدام جهاز التغذية للتغذية بالهيبوكلوريت فقط ، فإنه يسمى عندئذٍ(جهاز المعالجة بالهيبوكلوريت) .

الكلور غاز ذواب جداً في الماء ووظيفة جهاز المعالجة بالكلور هي قياس الجرعات اللازمة من الكلور وحلها وتغذية المياه المعالجة بها . وتختلف الجرعات اعتماداً على حاجة الماء من الكلور ، وما إذا كان يجب تطبيق نقطة الانكسار أم لا ، الخ ، ولكن الجرعات تتراوح عادة من أقل من 1 ppm إلى ما يزيد عن 10 ppm .

ينبغي للماء المعالج بالكلور أن يظهر بعد الترسيب لمدة 5 ـ 30 دقيقة زيادة طفيفة أو ثمالة من الكلور تبلغ عادة إلى 0.1 - 0.2 ppm

في المعالجة بالكلور عند نقطة الانكسار Break Point التي كثيراً ما تستخدم لتخفيف أو للتخلص من الطعوم والروائح ، وأيضاً لتخفيف الألوان من بعض المياه الغامقة اللون ، تزداد الجرعات بما يكفي لتجاوز نقطة الانكسار لإنتاج الثمالة المرغوبة . ويمكن تحديد نقطة الانكسار بالطريقة التالية :

أثناء الزيادة التدريجية لجرعات الكلور في عدد من عينات الماء ، سنجد أن الثمالات تزداد لفترة ولكن ليس بنسبة الزيادة المضافة وبعدئذٍ تنقص (أو أنها لا تُظهر زيادة) . وعند زيادات إضافية من جرعة الكلور ، يتم الوصول إلى نقطة تتجاوز النقطة التي تزداد الثمالات إليها من جديد ، وعندئذٍ تكون هذه الزيادات عملياً بنسبة الزيادات المضافة وتعرف هذه النقطة (بنقطة الانكسار).

يمكن استخدام الكلور أيضاً لتشكيل ثاني أكسيد الكلور ، الذي استخدم لإزالة الطعوم والروائح من الماء . وفي إعداد ثاني أكسيد الكلور يغذى محلول كلوريت الصوديوم بالكلور وتتم تغذية الماء بالمزيج . والتفاعل هو :

$$Cl_2 + 2NaClO_2 \rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl$$

كلور + كلوريت الصوديوم ← ثاني أكسيد الكلور + كلور الصوديوم

نحتاج إلى زيادة في كمية الكلور تصل إلى ضعف الكمية النظرية تقريباً كما يجب الحذر عند إجراء هذه المعالجة . كانت النتائج ممتازة عند استخدام مياه معينة .

2 . الأمونيا :

استعملت الأمونيا بالارتباط مع الكلور لتشكيل الكلورامينات . ويمكن تلقيمها كملح الأمونيوم ، بجهاز تغذية من النموذج السائل ، ولكن إذا كانت الكيماويات المطلوبة كبيرة ، فسيكون اقتصادياً أكثر شراء الغاز المسيّل ، والذي يوجد في اسطوانات فولاذية سعة 100 ليبرة أو أكثر .

الغاز ذواب جداً ويقاس وينحل في الماء ويجري تلقيمه بأجهزة تغذية من نموذج يعرف تحت اسم (أجهزة التغذية بالأمونيا) . وعند استخدام الأمونيا لتشكيل الكلورامينات ، فإن الماء يجب أن يغذى بها وبالكلور كل على حده بحيث يحدث التفاعل في محاليل مخففة جداً .

وتستخدم اليوم على نطاق واسع ، المعالجة بالكلور عند نقطة الانكسار لتأمين ثمالات الكلور أكثر مما تستخدم المعالجة بالأمونيا لتأمين ثمالات الكلورامين . وبما أن الكلور يزيل أي محتوى من الأمونيا ينتج في الماء ، فإن أي كمية من الأمونيا ، تضاف إلى الماء سوف تزيد جرعة الكلور على نحو متناسب .

3 . ثاني أكسيد الكربون :

يستخدم ثاني أكسيد الكربون في معالجة المياه بصورة رئيسية من أجل (إعادة كربنة) صبيب الماء من منشآت تيسيره بالبارد أو بكربونات الصوديوم . كان الصبيب من النماذج القديمة للمنشآت يشبع بإفراط بكربونات الصوديوم ، وكان (الترسيب التالي) في آبار نظيفة ، وشبكات أنابيب رئيسية شائع جداً . وكانت تطبق إعادة كربنة هذا الصبيب لإعادته إلى التوازن الكيميائي ، وبذلك يتم تفادي هذه الصعوبات . واستخدم ثاني أكسيد الكربون إلى مدى محدود في معالجة المياه الكبريتية .

لم يكن ثاني أكسيد الكربون إلا في حالات استثنائية قليلة ، غازاً نقياً لكنه كان غاز مداخن مغسولاً ، إما من مواسير المداخن ، أو من مواقد الكوك ، أو الغاز، أو الزيت ، التي تحتوي على ما يقرب من 12 . 16 % من ثاني أكسيد الكربون . وفي عدد قليل نسبياً من الحالات ، استخدام الغاز النقي ، الذي يستمد من اسطوانات الغاز المسيّل .

4 . ثاني أكسيد الكبريت :

استخدم ثاني أكسيد الكبريت كعامل لنزع الكلورة ، وأيضاً كمصحح للـ PH . ويفضل استخدام الغاز المسيّل ، حيثما كانت الكميات اللازمة بسيطة نسبياً ، كونه مجهز في اسطوانات فولاذية بوزن صافٍ 150 ليبرة أو أكثر ، وحيثما كانت

الكميات اللازمة كبيرة ، فإن الغاز ينتج على نحو اقتصادي أكثر عن طريق حرق الكبريت في معدات خاصة .

المواد الكيمائية :

أدرجنا في الجدول 1 . 12 الاسم الكيميائي ، والاسم التجاري ، أو الشائع ، والصيغة الكيميائية ، والوزن الجزئي ، والصنف ، ونماذج حاويات الشحن ، والوزن بالباوندات في القدم المكعب ، والذوبانية في مدى يتراوح من ˚32 . ˚86 ف ، لمختلف المواد الكيميائية المستخدمة في معالجة المياه .

الجدول 1 . 12 بيانات بالمواد الكيميائية التجارية المستعملة لمعالجة المياه

Name (Chemical, Trade, and Common), Formula, and Formula Weight	Grades Used in Water Treatment	Shipping Containers	Weights (lb per cu ft)	Storage Space (cu ft per ton)	Solubilities (parts/100 parts of water)			
					32°F	50°F	68°F	86°F
Alum, ammonium (ammonia alum) $Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$—906	Lump or crystal required for pot-type feeders	Bags, boxes, cartons, kegs and barrels	64–68	30–31	3.9	9.5	15.1	20.0
Alum, potassium (potash alum) $Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$—949	Lump or crystal required for pot type feeders	Bags, boxes, cartons, kegs and barrels	64–68	30–31	5.7	7.6	11.4	16.6
Aluminum sulfate (filter alum) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$—666 (comm. grade has about $14H_2O$)	Slab, lump, ground or powdered; iron-free grade not required; acidic to basic grades contain 14.5% to 17.5% Al_2O_3	Bags, kegs, barrels and in bulk; also available in solution in tank cars	Slab, lump or ground 57–67 Powdered 38–45	30–35 45–53	60.8	65.3	71.0	78.8
Ammonia, anhydrous NH_3—17.0	Liquefied gas under pressure in steel cylinders	50-lb net 100-lb net 50,000-lb tank cars (net)	117-lb gross 233-lb gross	8¼" dia. × 53" 12½" dia. × 55"	47.3	40.6	34.6	29.1
Barium carbonate (witherite) $BaCO_3$—197	Powder	Bags, barrels and in bulk	52–78	26–39		0.002	0.002	0.002
Calcium carbonate (calcite, limestone, whiting, chalk) $CaCO_3$—100	Crushed and graded granules for filters and as powder	Bags, barrels and in bulk	Powder 48–71 Granules 100–115	28–42 18–20			0.0013	
Calcium chloride $CaCl_2$—111	Flake: 77–78% $CaCl_2$; solid: 73–75% $CaCl_2$; liquid: 40% $CaCl_2$	Flake: moisture proof bags or drums Solid: drums	66–69 400-lb drums 700-lb drums Liquid	29–31 24¼" × 33¾" 21¼ × 33¾" 87	59.5	65.0	74.5	102
Calcium hydroxide (hydrated lime) $Ca(OH)_2$—74.1	Powder; usually contains about 93% $Ca(OH)_2$	Bags, barrels and in bulk	25–50	40–80	0.18	0.17	0.16	0.15

Calcium hypochlorite (H.T.H., Perchloron, Pittchlor)	Powder	Cans and drums			Very soluble			
Calcium oxide (chemical lime) CaO—56.1	Lump, pebble, ground and powder	Bags, barrels and in bulk	Lump 50–65 Pebble 60–25 Ground 50–70 Pulv. 39–71	31–40 31–34 29–40 28–52	Slakes with water to form $Ca(OH)_2$; to slake use ½ gallon of water per lb			
Calcium sulfate (gypsum) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$—172	Ground	Bags, barrels and in bulk	50–60	33–40	0.18	0.19	0.20	0.21
Carbon, activated (various trade names)	Powder and graded granules	Bags	Powder 15–28 Granular 12–30	72–134 67–167	Insoluble			
Chlorine Cl_2—70.9	Liquefied gas under pressure in steel cylinders	105-lb net 150-lb net 1-ton net Multi-unit cars; single unit cars	195-lb gross 270-lb gross 3325-lb gross 15-1 ton units 32,000–60,000-lb net	10½" dia. × 40" 10½" dia. × 52½" 30" dia. × 80"	1.46	0.980	0.716	0.562
Chlorinated lime (chloride of lime) $Ca(OCl)_2 + CaCl_2H_2O$	Powder; yields about 35% chlorine	Cans and drums			Very soluble			
Clay varies in composition	Powder; should not be too fine	Bags, barrels and in bulk	30–69	29–67	Insoluble			
Dolomitic lime CaO + MgO content of MgO varies	Lump, pebble, ground or powder; typical for SiO_2 removal; 58% CaO and 40% MgO	Bags, barrels and in bulk	Lump 50–65 Pebble 60–65 Ground 50–75 Pulv. 37–63	31–40 31–34 27–40 32–54	Slakes with water forming $Ca(OH)_2$ + MgO, the latter of which slakes very slowly			
Dolomitic lime, hydrated $Ca(OH)_2$ + MgO content of MgO varies	Powder; typical for SiO_2 removal; 62% $Ca(OH)_2$ and 32% MgO	Bags, barrels and in bulk	28–52	39–72				
Ferric sulfate (ferrisul, ferrifloc) $Fe_2(SO_4)_3$—400	Granules; composition from different sources varies [70%–90% $Fe_2(SO_4)_3$] some grades contain $Al_2(SO_4)_3$	Bags, kegs, barrels, drums and in bulk	60–70	29–34	Very soluble; to dissolve in cold water, add 2 parts water to 1 part ferric sulfate with stirring			

Name (Chemical, Trade, and Common), Formula, and Formula Weight	Grades Used in Water Treatment	Shipping Containers	Weights (lb per cu ft)	Storage Space (cu ft per ton)	Solubilities (parts/100 parts of water)			
					32°F	50°F	68°F	86°F
Ferrous sulfate (copperas, green vitriol) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$—278	Crystals, granules, sugar sulfate	Bags, boxes, kegs, barrels and in bulk	63–66	30–32	28.7	37.5	48.5	60.2
Magnesium oxide (magnesia) MgO—40.3	Powder; various grades differ greatly in density	Bags, barrels and in bulk	8–40	50–250	Slakes very slowly in the cold; solubility of $Mg(OH)_2$			
							0.002	0.002
Phosphoric acid, ortho H_3PO_4—98	75% H_3PO_4; other grades are available in syrup or paste form	Carboys, kegs, barrels (paste), tank cars	(75%) 98.2		Miscible with water in all proportions			
Sodium bicarbonate (baking soda) $NaHCO_3$—84	Powder; 99% $NaHCO_3$	Bags, barrels, kegs and in bulk	59–62	32–34	6.5	7.5	8.8	10.0
Sodium bisulfate (nitre cake) $NaHSO_4$—120	Lump, ground	Barrels and in bulk	Lump 84–89 Ground 85–95	23–24 21–24				
Sodium carbonate (soda ash) Na_2CO_3—106	Light soda ash; powder; 58% Na_2O = 99.16% Na_2CO_3	Bags, barrels and in bulk	34–52	39–59	7.0	12.5	21.5	38.8
			(100-lb paper is 8¼" × 18¼" × 30¾" and occupies stacked about 2.36 cu ft)					
Sodium Carbonate, Crystal (sal soda, washing soda) $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$—286	Lump or crystal required for pot-type feeders	Bags, kegs and barrels	68–71	28–30	18.9	33.8	58.0	105
Sodium chloride (salt, common salt) $NaCl$—58.5	Rock salt, evaporated salt; 98% NaCl	Bags, barrels and in bulk	50–70	29–40	35.7	35.8	36.0	36.3
Sodium hydroxide (caustic soda) $NaOH$—40	Flake, solid and ground; 76% Na_2O = 98.06% NaOH; also available in tank cars as 50% to 73% solutions	Flake: drums Solid: drums	50-lb net 100-lb net 400-lb net 700–730-lb net	12½" dia. × 13½" 15.6" dia. × 17¾" 21¼" dia. × 32¼" 21¼" dia. × 32¼" to 33¾"	42.0	51.5	109	119

Sodium phosphate, mono NaH_2PO_4—120 (anhydrous) $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$—138		Bags Barrels Kegs Boxes Cans Drums	55–70 58–79	29–37 26–35	57.9 66.6	69.9 80.4	85.2 98.0	107 123
Sodium phosphate, di Na_2HPO_4—142 (anhydrous) $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$—358			53–62 46–53	32–39 38–44	1.7 4.2	3.6 8.9	7.7 19.3	20.8 52.4
Sodium phosphate, tri $Na_3PO_4 \cdot H_2O$—182 $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$—380			83–90 56–60	22–24 32–36	1.7 3.5	4.6 9.5	12.3 25.5	22.2 46.4
Sodium phosphate, meta $NaPO_3$—102	Flake anc glass		Flake 17–19 Glass 39–41	105–118 49–51	Very soluble; 25% to 50% solutions very viscous, usually fed in 1- to 2-lb/gal solutions			
Sodium silicate (silicate of soda, water glass) formula abt. $Na_2O(SiO_2)_{3.25}$	40°Bé solution; solid glass and grades with various ratios of SiO_2 to Na_2O also available	Drums, tank cars and tank trucks	86.1		Miscible in water in all proportions			
Sodium sulfate (salt cake) Na_2SO_4—142	Lumps and powder; usually 92% to 99% Na_2SO_4	Bags, barrels and in bulk	85–95	21–24	5.0	9.0	19.4	40.8
Sodium sulfate (Glauber's salt) $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$—322	Crystals, standard and needle	Bags, barrels, boxes and in bulk	Std. Cryst. 58–63 Needle C. 46–56	32–35 36–44	11.3	20.4	44.0	92.5
Sodium sulfite Na_2SO_3—126	Crystals and powder	Bags, kegs, barrels and drums	80–91	23–26	14.0	20.0	27.0	36.0
Sulfur dioxide SO_2—64.1	Liquefied gas under pressure in steel cylinders; multi-unit tank cars; single-unit tank cars	100-lb net 150-lb net 1-ton net 15-1 ton units 40,000-lb net	177-lb gross 221-lb gross 3369-lb gross	8¼" dia. × 53" 10" dia. × 53" 30" dia. × 80"	22.8	16.2	11.3	7.8
Sulfuric acid H_2SO_4—98.1	98% 93.2% (66°Bé) 77.7% (60°Bé)	Bottles, carboys, drums, tank cars and trucks	98%–114.5 93.2%–114.5 77.7%–106.3		Miscible in water in all proportions			

الفصل الثالث عشر

الترسيب و التخثير و الترويق والترشيح
Sedimentation , Coagulation, Settling , And Filtration

تستخدم طرق المعالجة التالية لإزالة الرواسب ، و العكارة ، واللون ، والمادة العضوية من الماء :

(1) الترسيب ، أو (2) التخثير ، أو (3) الترويق ، أو (4) الترشيح . وعلى الرغم من أن الترسيب يستخدم أحياناً لوحده ، فإن هذه المعالجات تجتمع عادة ، على النحو التالي : تخثير + ترويق ، وتخثير+ ترشيح ، وتخثير + ترويق+ ترشيح ، وترسيب+ ترويق+ تخثير+ ترشيح .

أولاً . الترسيب : Sedimentation

إن عبارة " ترسيب" كما تستخدم في النص ، تشير إلى العملية ، التي تزال بها المادة المعلقة ، بدون مساعدة المخثرة ، عن طريق إبطاء الجريان بحيث يكون ساكناً نسبياً . وبهذه الطريقة ، تزال المادة المعلقة عادة ، ولكن بصورة جزئية فقط ، وتعتمد درجة الإزالة ، بصورة رئيسية ، على حجم وطبيعة المواد شبه المعلقة ، ودرجة حرارة الماء ، الجسيمات وطول فترة التوقف . ومع أن هذه الجزئيات قد تتفاوت على مدى واسع ، من حبيبات خشنة نسبياً ، كالرمل ، إلى جزيئات ذات حجم غراوني ، فمن الواضح أنه لا يوجد خط حاد بين الرواسب والعكارة . فقد اقترحنا في الفصل الرابع ، تحت عنوان " العكارة والرواسب" ، أن تستخدم عبارة " **رواسب**" ، عند نقل العينات ، فقط على الجزيئات التي تستقر بسرعة بعد رجّ العينة ، إلى الحد الذي لا يمكن فيه تحديدها بوصفها " عكارة" .

ومن الواضح أن هذا التعريف ، هو تعريف تقريبي إلى أبعد حد ،و سيكون قاصراً عن التمييز بين تلك الجزيئات ، التي يمكن إزالتها ضمن مختلف فترات الترسيب عن طريق الترسيب البسيط ، وتلك التي تحتاج إلى التخثير والترويق . ويمكن إجراء هذا التفريق فقط في الحقل ، عند أخذ العينات طازجة ينبغي إجراء سلسة من الاختبارات ، تقاس فيها درجة الترسيب الحاصلة في فترات معينة ، إضافة إلى سلسة من اختبارات التخثير المقارنة على الماء الخام ، قبل الترسيب ، وعلى الماء بعد الترسيب . وسوف تفيد هذه الاختبارات في إظهار مقدار المادة المعلقة ، التي يمكن إزالتها في مختلف فترات الترسيب ، وما إذا كان يمكن أيضاً أم لا ، إحداث توفير هام في جرعات المادة المخثرة باستخدام الترسيب قبل التخثير والترويق . يمكن إجراء الترسيب في البحيرات ، والبرك ، والخزانات ، والأحواض ، والصهاريج ، وهي قد تختلف ، إلى حد كبير ، في الحجم وفي فترات الإيقاف . وقد تختلف هذه الفترات باستثناء حالة المصائد الرملية ، حيث تكون الفترات قصيرة جداً ، من بضع ساعات إلى أكثر من شهر . وحيثما تستخدم الصهاريج والأحواض ، ينصح بالإعاقة لمنع تقصير الدائرة ، لأنه ليس الحجم وحده هو المؤثر ، ولكن أيضاً طول الفترة التي يستغرقها الماء لعبور الوعاء ، وتقصير الدارة يمكن أن يختزل فترة الإيقاف الفعلية إلى جزء من فترة الإيقاف ، التي تحسب من حجم ومعدل الجريان العادي . يمكن أن تكون فترة الإيقاف الممكنة طويلة جداً في البحيرات أو البرك أو الخزانات الكبيرة ، إلى الحد الذي تزال فيه ، ليس فقط الرواسب الثقيلة ، بل أيضاً الجزيئات شبه المعلقة ، و الناعمة جداً . ومن أجل تأثيرات العواصف ، والتيارات ، والتبدلات في درجة الحرارة وموقع المأخذ ، الخ انظر (العكارة في البحيرات والبرك والخزانات) في الفصل الرابع . إن مياه الآبار ، التي تكون نقية من نواحٍ أخرى ، سوف " تطرح رملاً" عند الضخ . ويزال هذا عادة بمعدات ترسيب بسيطة نسبياً ، تعرف عادة بمصائد الرمل .

ولذلك يمكن ، في بعض الحالات ، إزالة الجوامد المعلقة بالترسيب البسيط ، ولكن الحالات ، من هذا النوع ، نادرة جداً ، وسوف نكتشف ضرورة استخدام واحدة من المجموعات الأربعة للمعالجة ، في معظم المنشآت الصناعية .

ثانياً . التخثير: ***Coagulation***

إذا رشحت المياه العكرة غير المخثرة ، أو الملونة من خلال أوساط مرشحة حبيبية ، تلك التي تستخدم عادة في ترشيح المياه ، فسوف نجد أن بعض العكارة وقد عبرت الوسط المرشح ، ومع كامل اللون ، إذا كانت المياه ملونة ، يحدث هذا ، لأن كثيراً من العكارة مؤلفاً من جزيئات صغيرة ، غروانية ، إلى الحد الذي يعبر كثير منها الفراغات البينية في الوسط المرشح . ولذلك تصبح معالجة الماء ضرورية قبل الترشيح ، بحيث تتجمع هذه الجزيئات في كتل كبيرة بما يكفي لصدها من قبل الوسط المرشح . تدعى هذه المعالجة بالتخثير ، وتعرف المواد المستخدمة بالمواد المخثرة ، كما تعرف الرواسب الجيلاتينية ، المتشكلة بواسطة تفاعل المواد المخثرة مع المقومات الطبيعية أو المضافة ، تحت اسم اللّبادة floc . فإذا أنتجت هذه اللبادة في ظروف ملائمة ، عن طريق التشرد والاحتبال البسيط ، فإنها سوف تأسر المواد شبه المعلقة ، وتشكل ، عن طريق التخثير ، كتلاً كبيرة بما يكفي لصدها من قبل الوسط المرشح ، وستكون النتيجة المتحصلة صبيباً نقياً شفافاً . علاوة على ذلك ، سوف يستقر بسرعة جرم كبير من لبادة جيدة ، بحيث يخف الحمل عن المرشحات إلى حد كبير ، عن طريق استخدام نموذج الدثار العكر ، أو النموذج التقليدي من صهريج أو حوض الترسيب قبل المرشحات .

تتركب المواد المخثرة المستخدمة في معالجة المياه من كبريتات الألومنيوم أو الحديد عادة . والكبريتات حمضية في طبيعتها ، وتتفاعل مع قلوية الماء الطبيعية أو المضافة ، لإنتاج كبريتات الكلسيوم ، أو المغنزيوم ، أو الصوديوم ،

وراسباً جيلاتينياً ، يفترض ، حسب التقديرات ، أن يكون الهيدروكسيد ، غير أنه يكون عادة كبريتات معقدة مختلفة التركيب . تحمل معظم الجزئيات الغراونية للعكارة واللون شحنة كهربائية سالبة ، في حين يحمل الهيدروكسيد المعدني المتشكل شحنة موجبة ، ولذلك يشارك التشرد ، إضافة إلى الاحتبال الآلي ، في التخثير . وتؤثر الأنيونات أيضاً ، كما يبدو ، في هذه الظاهرة ، ويفترض أن يكون هذا التأثير عن طريق اجتذاب الجزيئات المشحونة إيجابياً . ومواد التخثير الكبريتاتية أكثر فعالية من مواد التخثير الكلوريدية . تختلف جرعات المخثر اللازمة ، وقيمة الـ pH المثالية من أجل التخثير ، حسب مادة التخثير المستخدمة ، ليس فقط مع اختلاف المياه ، بل حتى مع المياه نفسها في فترات مختلفة . عموماً ، تتفاوت هذه الجرعات من جزء 1غ / جالون ، إلى مايزيد عن 5غ / جالون والقيمة الأكثر إجابية للـ pH ، تتراوح عادة ، بالنسبة لمخثرات الألومنيوم ، من حوالي 5.5– 6.8 ، ومع مخثرات الحديد ، يكون المدى عادة حوالي 3.5– 5.5 وأكثر من 9 وهناك بعض الاستثناءات ، لأن مخثرات الألومنيوم مثلاً ، استخدمت مع مياه غامقة اللون ، وبقيم للـ pH دون 5.5 ومع المياه ذات المحتوى العالي من المعدن ، قد يتسع المدى إلى حوالي 7.5 .

إن المياه الأكثر صعوبة في التخثير ، هي المياه الغامقة اللون الخالية من العكارة ، وذات المحتوى المعدني المنخفض . في هذه المياه ، قد يكون مدى pH من أجل التخثير الجيد ضيقاً جداً ، ولكن يمكن توسيعه بإضافة مساعد تخثير مناسب، مثل الطين ، أو السيلكا المنشطة ، أو واحدة من " عديدات الكهرل " Poly electrolytes متعددات الشحنة ، كما سنذكر في مكان آ خر من هذا الفصل ، يزال اللون عادة ، على نحو أفضل ، بقيم pH دون 6.5 . ولمزيد من التفصيل ، انظر " اللون و المادة العضوية " و " الحدود المسموحة في اللون " و " إزالة اللون والمادة العضوية" في الفصل الرابع . يفيد التحريك المنتظم أيضاً

في توسيع مدى pH ، ويفضل استخدام التحريك الآلي . ويجب أن تكون درجة التحريك المستخدمة كافية لتشكل لبادة تستقر بسرعة ، ولا يجب أن تكون مفرطة ، لأن شدة التحريك ، سوف تحول دون تشكل لبادة جيدة .

اختبارات المطربانات : Jar tests

يفضل إجراء اختبارات المطربانات في الحقل بعينات من الماء مسحوبة حديثاً ، وذلك لتقدير جرعات مواد التخثير ، و/ أو مُعَدِّلات الـ pH ، والقيمة المثلى pH ، وما إذا كان استخدام مساعد التخثير ، كالطين أو السيلكا المنشطة ضرورياً أم لا . ويمكن إجراء هذه الاختبارات في مطربانات زجاجية من سعة 1 أو 2 كوارتاً ، ومع أنه يمكن تحريك العينات باليد ، عن طريق استخدام قضيب زجاجي أو خفاقة بيض، لكن يفضل إجراء عدد من الاختبارات في وقت واحد ، بواسطة آلة تحريك مضاعفة ، تزود بجهاز تدوير متغير السرعة . ويمكن الحصول على مساعدات التنوير ، وربما على أفضل أشكالها لمراقبة تشكل اللباده ، وذلك عن طريق إحداث ثقب بمقدار إنش واحد في الحامل ، تحت مركز المطربان ، وتوجيه حزمة من الضوء صعوداً خلاله . ولكن ينبغي تفادي تأثيرات التسخين التي يحدثها الضوء . تحضر مادة التخثير والمواد الكيميائية الأخرى الذوابة ، بحيث يساوي كل ملم ، عند إضافته إلى حجم العينة المستخدم ، 1غ / جالون (أو عدداً محدداً من الـ ppm) وتجرى هذه القياسات على نحو ملائم أكثر ، باستخدام أنابيب مور Mohr للمصّ ، ويفضل استخدام ماصّة واحدة لكل كاشف . ويمكن بالطريقة نفسها استخدام مستعلق الجير أو الطين ، أو مادة مماثلة ، ذوابة قليلاً أو غير ذوابة ، عن طريق رجّ المستعلقات ، وقياسها بسرعة ، وإضافة الجرعة . إن قياس المستعلقات ، بهذه الطريقة ، ليس دقيقاً ، لكنه سريع ، وقريب بما يكفي للدلالة على المدى التقريبي للجرعات .

يقاس الزمن اللازم لتشكل اللبادة . وعند ئذٍ يوقف التحريك ، ويلاحظ الزمن اللازم للترويق . ويجري التعبير عن هذا الزمن عادة بالنسبة المئوية المترسبة خلال فترات مختلفة: 5 و10 و15 دقيقة مثلاً . وليس هناك من طريقة جيدة ، وسريعة ، وعملية لإجراء هذا القياس بدقة . وبما أن هذا التقدير يتم ببصر العامل ، فإنه يتأثر طبعاً بالمعادلة الإنسانية . ولكن الخبرة تساعد في ذلك ، وبما أن النتائج مقارنة إلى حد كبير ، وان اللبادة الجيدة تستقر بسرعة أكبر من اللبادة السيئة ، فسوف لن نحتاج إلى درجة عالية من الدقة في تقدير النسب المئوية ، التي استقرت في مختلف الفترات .

الاختبارات الأولى ، تكون تقريبية عادة للدلالة على المديات التقريبية للجرعات ، وقيم الـ pH . فسوف تعمل سلسة الاختبارات على تقليص هذا المدى إلى الجرعة الدنيا من مادة التخثير اللازمة ، والقيمة المثلى للـ pH . ومع الحجوم الكبيرة ، المستخدمة في معدات التخثير المثلى ذات الحجوم الطبيعية ، نحصل عادة على تخثير أفضل ، باستخدام الجرعات أقل من مادة التخثير ، مما نحصل عليه في الحجوم الصغيرة ، في اختبارات المطربانات . وبناء عليه ، تفيد اختيارات المطربانات للدلالة على الجرعات التقريبية ، وقيم pH المثلى . ويتم إجراء التعديلات النهائية في المعدلات ذات الحجم الطبيعي .

المواد المخثِّرة : Coagulations

المواد المخثرة ، التي تستخدم عادة في معالجات المياه هي :

<u>1 . كبريتات الألمنيوم :</u>

تعرف كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3 - 18H_2O$ أيضاً ، وعلى نحو شائع ، تحت اسم كبريتات الألومينا ، وشب الترشيح ، وشب الوراقين ، إلخ ، تستخدم على نطاق واسع كمادة مخثرة ، وفي تخثير المياه لا يلزمنا الصنف الخالي من الحديد . وتتوفر في أشكال حمضية أو قاعدية ، تحتوي على حوالي 14.5− 17.5 % من Al_2O_3 (المحتوى النظري من Al_2O_3 في $.18H_2O$ $Al_2(SO_4)_3$ الصافي ، هو 15.3 %) . والمحتوى المائي في الناتج التجاري يكون أيضاً أقرب إلى 14 مول منه إلى 18 مول . ويسوّق هذا الناتج على شكل صفائح أو كتل ، أو مطحوناً ، أو مسحوقاً ، أو على شكل محلول أيضاً .

الجدول 1 . 13 كبريتات الألومنيوم : التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات :

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	$+ 3Ca(HCO_3)_2$	$\rightarrow 2Al(OH)_3$	$+ 3CaSO_4$	$+ 6CO_2$	$+ 18H_2O$
"	$+ 3Mg(HCO_3)_2$	$\rightarrow$ "	$+ 3MgSO_4$	+ "	+ "
"	$+ 6NaHCO_3$	$\rightarrow$ "	$+ 3Na_2SO_4$	+ "	+ "
"	$+ 3Na_2CO_3$	$\rightarrow$ "	+ "	$+ 3CO_2$	$+ 15H_2O$
"	$+ 6NaOH$	$\rightarrow$ "	+ "	$+ 18H_2O$	
"	$+ 3Ca(OH)_2$	$\rightarrow$ "	$+ 3CaSO_4$	+ "	

ينصح بالتسخين والتحريك عند حل الشكل الصلب ، وخصوصاً إذا كان على شكل كتل أو صفائح ، يمكن التغذية بكبريتات الألمنيوم بواسطة مختلف نماذج أجهزة التغذية الكيميائية ، كنماذج المحلول الضغطي ، أو الكهربائي ، أو الثقالة ذو الفوهة ، أو واحداً من النماذج الجافة . ويكتب تفاعلها عادة مع مختلف المواد القلوية لإظهار الترسب بوصفه هيدروكسيد ألمنيوم . وندرج في الجدول 1 − 13 التفاعلات مع بيكربونات الكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم وكربونات الصوديوم والصودا الكاوية والكلس المطفأ .

الجدول 2 . 13 . مواد التخثير وحمض الكبريت : التأثير في كل 1ppm مضاف .

(ppm of various coagulants and sulfuric acid)		(expressed as ppm $CaCO_3$)		(ppm of CO_2 formed)	
Name	Formula	Alkalinity Decrease	Sulfate Increase	From Bicarbonates	From Carbonates
Aluminum sulfate	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	0.45	0.45	0.40	0.20
Ferric sulfate (90%)	$Fe_2(SO_4)_3$	0.68	0.68	0.60	0.30
Ferrous sulfate	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.36	0.36	0.32	0.16
Chlorinated copperas	$FeSO_4 \cdot 7H_2O(+\frac{1}{2}Cl_2)$	0.54	0.36*	0.48	0.24
Potash alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$	0.32	0.42	0.28	0.14
Ammonia alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$	0.33	0.44	0.29	0.15
Sulfuric acid (98%)	H_2SO_4	1.00	1.00	0.88	0.44
Sulfuric acid (93.2%)	H_2SO_4 (66°Bé)	0.95	0.95	0.84	0.42
Sulfuric acid (77.7%)	H_2SO_4 (60°Bé)	0.79	0.79	0.70	0.35

* Chloride increase = 0.18 ppm as $CaCO_3$.

الجدول 3 . 13 . مواد التخثير وحمض الكبريت : كميات القلويات والكلس المطفأ اللازمة لمعادلة 1PPM

(ppm of various coagulants and sulfuric acid)		(expressed as ppm of commercial chemicals)				
Name	Formula	Soda Ash 58 % Na_2O	Sal Soda $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Caustic Soda 76 % Na_2O	Hydrated Lime 93 % $Ca(OH)_2$	Chemical Lime 90 % CaO
Aluminum sulfate	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	0.47	1.29	0.37	0.36	0.28
Ferric sulfate (90%)	$Fe_2(SO_4)_3$	0.72	1.93	0.55	0.54	0.42
Ferrous sulfate	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.38	1.03	0.29	0.28	0.22
Chlorinated copperas	$FeSO_4 \cdot 7H_2O(+\frac{1}{2}Cl_2)$	0.58	1.54	0.44	0.43	0.34
Potash alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$	0.34	0.90	0.26	0.25	0.20
Ammonia alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$	0.35	0.95	0.27	0.26	0.21
Sulfuric acid (98%)	H_2SO_4	1.06	2.86	0.81	0.79	0.62
Sulfuric acid (93.2%)	H_2SO_4 (66°Bé)	1.02	2.72	0.78	0.76	0.59
Sulfuric acid (77.7%)	H_2SO_4 (60°Bé)	0.85	2.27	0.65	0.63	0.49

إن الزيادة في قلوية البيكربونات ، تزيد من محتوى الكبريتات ، وتظهر كمية ثاني أكسيد الكربون المنطلقة في 1 ppm من كبريتات الألومنيوم (إضافة إلى مواد التخثير الأخرى الحمضية وحمض الكبريت) التي تضاف إلى الماء ، الذي توجد قلويته على شكل بيكربونات و/ أو كربونات في الجدول 2 – 13 . ويحتوي الجدول 3 – 13 مكافئات لكربونات الصوديوم ، أو الصودا الكاوية ، أو الكلس المطفأ في 1 ppm من كبريتات الألومنيوم (إضافة إلى مواد تخثير أخرى حمضية وحمض الكبريت) . ويقدم الجدول 1 – 12 ، في الفصل 12 معلومات حول الذوبانية عند المجالات العادية من درجة الحرارة ، والوزن بالقدم المكعب ، ومميزات أخرى .

2ً . كبريتات الحديدي :

تعرف كبريتات الحديدي $FeSO_4 . 7H_2O$ ، بصورة شائعة ، تحت اسم (كوبيراس Copperas) أو الزاج الأخضر . وهي متوفرة على شكل بلورات أو حبيبات ، وتذوب بسرعة في الماء . وعند ما تتفاعل مع قلوية الماء الطبيعية أو المضافة ، تشكل هيدروكسيد الحديدي $Fe(OH)_2$ وهو ذواب بنسبة تقارب 4 ppm ، ويعبر عنه كـ Fe ، وهي نسبة عالية جداً . ولذلك يجب أن يؤكسد إلى هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ ، الذي يتميز بذوبانية مهملة (أقل من 0.01 ppm) . يمكن إجراء هذه الأكسدة عند قيم pH تزيد عن 7 ، عن طريق تهوية الماء ، إذا كان محتواه من الأكسجين المنحل ناقصاً ، أو بالمعالجة بالكلور مباشرة ، عند قيم أدنى للـ pH . إن كل 1 ppm من $FeSO_4.7H_2O$ المضاف ، يحتاج نظرياً إلى حوالي 0.03 ppm فقط من الأكسجين لأكسدته . وبناء عليه ، إذا احتوت المياه السطحية على 6 ppm فقط من الأكسجين المنحل (مشبع 60 % بدرجة 60 ف) ، فإنها تحتوي على ضعفي ما هو ضروري نظرياً

لأكسدة 6 غ / جالون (100 ppm) مباشرة من كبريتات الحديدي ، بشرط أن تكون قيمة الـ pH مرتفعة إلى حدٍ كافٍ . تبين التفاعلات في الجدول 5 − 13 ، الترسيب على شكل هيدروكسيد الحديد .

انظر أيضاً الجداول 1− 12 ، و 2− 13 ، و 3− 13 ، من أجل مزيد من المعلومات والخواص .

الجدول 5 . 13 . كبريتات الحديدي : التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات والأكسجين المنحل .

$2FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$+ 2Ca(HCO_3)_2$	$+ \frac{1}{2}O_2 \rightarrow$	$2Fe(OH)_3$	$+ 2CaSO_4$	$+ 4CO_2$	$+ 6H_2O$
"	$+ 2Mg(HCO_3)_2$	+ " →	"	$+ 2MgSO_4$	+ "	+ "
"	$+ 4NaHCO_3$	+ " →	"	$+ 2Na_2SO_4$	+ "	+ "
"	$+ 2Na_2CO_3$	+ " →	"	+ "	$+ 2CO_2$	$+ 4H_2O$
"	$+ 4NaOH$	+ " →	"	+ "	$+ 6H_2O$	
"	$+ 2Ca(OH)_2$	+ " →	"	$+ 2CaSO_4$	+ "	

3ً. كبريتات الحديدي المعالجة بالكلور: Chlorinated Copperas

يستخدم في بعض الحالات الكلور لأكسدة شاردة الحديدي من كبريتات الحديدي +2 إلى حالة الحديد +3 ، ويمكن كتابة صيغة هذه المعالجة بـ $FeSO_4 . 7H_2 + l/_2 Cl_2$. ولكن تجري التغذية بكبريتات الحديدي والكلور كل على حده . يحتاج كل 1ppm نظرياً من كبريتات الحديدي إلى 0.126 ppm من الكلور لأكسدته . ويحتوي الجدول 6 − 13 على هذه التفاعلات .

ولمزيد من المعلومات والخصائص . انظر الجداول 1− 12 ، و2− 13 ، و3−13 .

الجدول 6 . 13 . كبريتات الحديدي المعالجة بالكلور: التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات .

$2FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$+ 3Ca(HCO_3)_2$	$+ Cl_2 \rightarrow$	$2Fe(OH)_3$	$+ 2CaSO_4$	$+ CaCl_2$	$+ 6CO_2$	$+ 7H_2O$
"	$+ 3Mg(HCO_3)_2$	+ " →	"	$+ 2MgSO_4$	$+ MgCl_2$	+ "	+ "
"	$+ 6NaHCO_3$	+ " →	"	$+ 2Na_2SO_4$	$+ 2NaCl$	+ "	+ "
"	$+ 3Na_2CO_3$	+ " →	"	+ "	+ "	$+ 3CO_2$	$+ 4H_2O$
"	$+ 6NaOH$	+ " →	"	+ "	+ "	$+ 7H_2O$	
"	$+ 3Ca(OH)_2$	+ " →	"	$+ 2CaSO_4$	$+ CaCl_2$	+ "	

4ً. شب البوتاس وشب الأمونيا :

أن هاتين المادتين المخثرتين ، على شكل كتل أو بلورات ، هما المادتان الوحيدتان ، اللتان يمكن استخدامهما في أجهزة التغذية الكيميائية من نموذج "مرجل الشب البلوري" . وإليكم صيغتيْ المادتين على التوالي :

$Al_2 (SO_4)_3 . (NH_4)_2 SO_4 . 24H_2O$

$AL_2 (SO_4)_3 . K_2SO_4 . 24 H_2O$

(لا يمكن استخدام شب الصودا أو كبريتات الألومنيوم في هذا النموذج من أجهزة التغذية) .

وندرج في الجدول 7– 13 . شب البوتاس مع القلويات الطبيعية أو المضافة . والتفاعلات مع شب الأمونيا مشابهة للتفاعلات أعلاه ، باستثناء إنتاج كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2 SO_4$ بدلاً من كبريتات البوتاسيوم .

انظر الجدول 1– 12 ، و 1– 13 ، و 3– 13 ، من أجل مزيد من المعلومات والخصائص .

الجدول 7 . 13 . شب البوتاس : التفاعلات مع البيكربونات والكربونات والهيدروكسيدات .

$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$	$+ 3Ca(HCO_3)_2$	→	$2Al(OH)_3$	$+ 3CaSO_4$	$+ K_2SO_4$	$+ 6CO_2$	$+ 24H_2O$
"	$+ 3Mg(HCO_3)_2$	→	"	$+ 3MgSO_4$	+ "	+ "	+ "
"	$+ 6NaHCO_3$	→	"	$+ 3Na_2SO_4$	+ "	+ "	+ "
"	$+ 3Na_2CO_3$	→	"	+ "	+ "	$+ 3CO_2$	$+ 21H_2O$
"	$+ 6NaOH$	→	"	+ "	+ "	$+ 24H_2O$	
"	$+ 3Ca(OH)_2$	→	"	$+ 3CaSO_4$	+ "	+ "	

5ً. ألومينات الصوديوم :

تختلف ألومينات الصوديوم $NaAlO_2$ عن المواد المخثرة المذكورة آنفاً ، في أنها قلوية في تفاعلها بدلاً من كونها حمضية . وعند تغذية المياه العكرة أو الملونة بها ، فإنها تغذى عادة بالاقتران مع كبريتات الألومنيوم . وستتفاعل أيضاً مع ثاني أكسيد الكربون الطليق . وتظهر هذه التفاعلات في الجدول 8 – 13 التالي الذي يبين تفاعلها مع كبريتات الألمنيوم وثاني أكسيد الكربون :

$$6\ NaAlO_2 + Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O \longrightarrow 8\ Al(OH)_3 + 3\ Na_2SO_4 + 6\ H_2O$$

$$2\ NaAlO_2 + CO_2 + 3H_2O \longrightarrow Na_2CO_3 + 2Al(OH)_3$$

يختلف التركيز لألومينات الصوديوم بعض الشيء ، لكنه عموماً يحتوي على حوالي 88 % من $NaAlO_2$ ، والباقي مكون من كربونات الصوديوم وهيدروكسيد الصوديوم ، لأن بعض القلوية ضروري لاستبقائها في المحلول . ويمكن التغذية بالألومينات بواسطة الأجهزة الكيميائية ذات النموذج الجاف أو السائل . وهي ذوابة جداً في الماء ، من 29.5 جزءً في 100 جزءً من الماء بدرجة 32ف إلى 40 جزءاً بدرجة 86 ف ، لكن يستحسن عادة التسخين لحلها. ويستحسن عادة أيضاً أن لا يكون دفعات المحاليل المخففة ، أكبر مما يلزم لفترات 24 ساعة ، لأن المحاليل المخففة ، ما لم يكن تركيزها القلوي كبيراً ، قد تترسب وتكون إزالتها صعبة جداً . تنقل ألومينات الصوديوم في أكياس ، أو براميل ، أو اسطوانات ، تفتح فقط عند الاستخدام ،ويتراوح وزنها بالقدم المكعب من حوالي 35 . 60 ليبرة ، وتحتاج إلى حيز تخزين بسعة 35 . 38 قدماً مكعباً للطن الواحد .

المواد المساعدة للتخثير: (المواد المساعدة للدمج) : flocculation

كما ذكرنا سابقاً كثيراً ما تستخدم بعض المواد ، التي تعرف بمساعدات التخثير أو مساعدات الدمج في إزالة المواد شبه المعلقة ، واللون ، والمادة العضوية الخ ، عن طريق تشكيل لبادة flock مترسبة مرضية أكثر ، وبسرعة أكبر . ومع أن عدداً كبيراً من المواد كان يستخدم لهذا الغرض إلا أنه يمكن تصنيف مواد التخثير الشائعة كما يلي :

(1) الطين . (2) السيلكا المنشطة . (3) متعددات الشحنة .

1ً . الطين :

تستخدم بعض أنواع الطين كمساعدات تخثير ، في إزالة اللون من المياه الغامقة اللون . وربما تكون هذه الطريقة قد نشأت من ملاحظة أن تخثير كثير من المياه السطحية التي تحمل لوناً غامقاً ومحتوى خفيفاً من المعادن المنحلة ، كان أسهل بكثير عندما تكون عكرة (كما في حال بعد المطر) من تخثيرها وهي تجري صافية . وعندئذٍ وبتجربة مختلف المواد اللاذوابة والمجزأة الناعمة اكتشف أن جرعات صغيرة من بعض أنواع الطين كانت فعالة بشكل ملحوظ كمساعدات للتخثير

يوصف هذا الإجراء على أنه" فعل التثقيل" أي أن اللبادة المتشكلة بالتخثير في المياه النقية نسبياً والغامقة اللون ، يتألف معظمها من مادة عضوية ، وكانت خفيفة جداً بالنسبة للترسيب بسرعة ، وان إضافة ما مثل الطين يجعل اللبادة ثقيلة ، بحيث تستقر بسرعة أكبر . لاشك في أن لفعل التثقيل هذا تأثيراً مفيداً ، ولكن كما يبدو ، هناك عامل آخر يتدخل في هذه المسألة وهو ما يمكن أن نصفه بسهولة بالقدرة الامتصاصية للطين وعلى أية حال اكتشف بالتجربة أن جرعات صغيرة من طين مناسب عندما تستخدم بالاقتران مع المواد الأخرى شبه المعلقة، وتوسع من مدى الـpH اللازم للتخثر .

إن الطين التجاري الذي جرب ، واكتشف أنه مناسب نوعياً للاستخدام كمادة مخثرة ، متوفر عند عدد من المورّدين ويمكن الحصول بسهولة على عينات منه لاختبار فعاليته . وفيما يتعلق بالجرعات اللازمة لمورد مائي ما ، يمكن تحديدها ، بين حين وآخر ، عن طريق اختبارات المطربانات المعروفة . وتتراوح هذه الجرعات عادة من 1. 3غ / جالون (17 – 51 ppm) تقريباً .

ً2 . السيلكا المنشطة :

السيلكا المنشطة مادة فعالة لمساعدة التخثير من أجل إزالة العكارة ، واللون والمادة العضوية ، والمواد الأخرى شبه المعلقة .

وتستخدم عادة بالاقتران مع مخثرات الألومنيوم والحديد العادية ، ولكنها قد تستخدم كمادة مخثرة في طريقة تيسير الماء بالكلس البارد . و السيلكا المنشطة ، لا توجد بحد ذاتها ، وإنما يتوجب إعدادها حيث تستخدم عن طريق تأثير مواد حمضية معينة على المحاليل المخففة لسيليكات الصوديوم .

فالعامل المنشط ، في طريقة بايلس Baylis process ، وهو محلول مخفف لحمض الكبريت وأدخلت فيما بعد إلى حقل الاستعمال عوامل تنشيط أخرى هي : (أ) كبريتات الأمونيوم ، و(ب) الكلور (ويعمل في هذه الحالة كعامل تنشيط وكمطهر) ، و(ج) ثاني أكسيد الكربون ، (د) كبريتات الألومنيوم .
يضاف إلى ذلك أن هناك عوامل تنشيط أخرى يمكن استخدامها ، هي ثاني كبريتات الصوديوم ، وبيكربونات الصوديوم .

وفي بعض هذه الطرق تعد محاليل السيلكا الغراونية المنشطة على شكل دفعات ، وتستخدم خلال فترة زمنية محددة ، في حين تعدّ دفعات أخرى ، وتجري التغذية بها باستمرار . وأياً تكن الطريقة التي تستخدم في إعداد محاليل السيلكا المنشطة الغراونية ، فإنه يجب اتباع توجيهات إعدادها واستخدامها بدقة ، للحصول على أقصى الفوائد . وفيما يتعلق بإمكانية استخدامها ، والجرعات اللازمة منها ، معبراً عنها كـ SiO_2 ، فإنه يمكن بسهولة تحديد ذلك مع مساعدات مواد التخثير الأخرى بواسطة اختبارات المطربانات . وعموماً ، تتراوح الجرعات عادة عند استخدامها بالاشتراك مع مخثر الألومنيوم أو الحديد من 1-5 ppm

وكما ذكرنا سابقاً ، يمكن استخدام السيلكا المنشطة كمادة تخثير في طريقة الكلس البارد لتيسير المياه ، وعند استخدامها على هذا النحو ، تتراوح الجرعات عادة من 2 ppm إلى ما يزيد قليلاً عن 4 ppm .

3 . متعددات الشحنة الكهربائية : (Poly electrolytes) :

ينطبق تعبير متعددات الشحنة الكهربائية_على بعض النواتج التركيبية المعقدة والطبيعية ، التي يمكن استخدامها كمساعدات لمواد التخثير مع مختثر الألومنيوم أو الحديد ، أو كمواد مخثرة في استخدامات معينة . ويمكن أيضاً تصنيف هذه المواد إلى حد أبعد ، ككونها عديدات كهارل كاتيونية أو أنيونية أو لا أنيونية . ويمكن استخدام المواد التي صدقت على استخدامها الجهات المختصة في معالجة المياه ، بوصفها غير سميه ، ويمكن استخدامها بأمان في مياه الشرب أما تلك التي لم يصدق عليها ، فلا يجب استخدامها طبعاً إلا على مياه الهدر ، أو المياه الصناعية التي لا تستخدم لأغراض الشرب . إن التحسن في تشكل اللبادة والترويق والتصفية الذي يمكن إحداثه بجرعة مناسبة من عديد كهرل ملائم : كثيرا ما يكون مذهلاً ويمكن بسهولة حساب الجرعة المناسبة والكهرل الملائم ، في كل حالة بواسطة اختبارات المطربانات .

تختلف الجرعات باختلاف الموارد المائية والاستخدامات الأخرى لكنها عموماً ، عند استخدامها كمساعدات لمواد التخثير قد تتراوح من 0.5-1ppm ، وسوف تنقص طبعاً جرعات المادة المخثرة اللازمة ، وتعطي pH قيمة أقل حرجاً . وعند استخدامها كمادة تخثير كما في طرق تيسير الماء بالكلس البارد ، تتراوح الجرعات عادة من 1-2 ppm وقد تتراوح الجرعات عند معالجة مياه الهدر من 0.5 ppm إلى عدة أجزاء من 1 ppm

ثالثاً ـ الترويق : Settling

تشير كلمة ترويق Settling ، المستخدمة في النص إلى ترويق الماء المخثر . فمعدات التخثير والترويق ، يجب أن تصمم بحيث تُحدث تشكلاً جيداً للّباده مع أكثر الجرعات الكيميائية فعالية ، وإزالة الجزء الأكبر من اللبادة مع حملها المسحوب من الشوائب ، عن طريق الترويق . ولا يمكن الحصول على هذه النتائج بالطريقة القديمة ، التي تقضي بتعليق كيس من الشب عند نهاية مدخل حوض الترويق لأن هذا الإجراء غير فعال ومبدد للوقت ، ومكلف ويعطي نوعاً سيئاً وغير منسجم مع الصبيب .

وفي التطبيق الحديث تستخدم أجهزة تغذية كيميائية ، بحيث يمكن الحصول بسهولة على جرعات معدلة من مواد التخثير (وأي مواد أخرى للتغذية) . ويمكن أن تكون هذه الأجهزة من النموذج الجاف أو السائل ، واعتماداً على طريقة ضخ المياه ومعالجتها يمكن أن تكون أجهزة التغذية من نموذج الانطلاق والتوقف ذي التوزيع المتعادل ، أو ذات المعدل الثابت (انظر الفصل 12) . أساساً كلما أمكن مزج المادة المخثرة مع المياه الخام على نحو تام وسريع أكثر ، كلما كان التأثير فعالاً أكثر ، ويمكن إجراء هذا المزج السريع بسهولة عن طريق أحواض مزج اعتراضيه ، و / أو نماذج آلية من الخلاطات . وفيما يتعلق بمعدات التخثير والترويق ، يمكن أن تكون من نموذج الدثار العكر الحديث (تلامس الجوامد المعلقة) ، أو واحداً من النماذج المناسبة من أحواض مشكلات اللبادة و/ أو أحواض الترويق .

نموذج الدثار العكر (تلامس الجوامد المعلقة) من معدات التخثير والترويق :

Sludge- Blanket (Suspended Solids Contact)Type of Coagulation & Settling Equipment

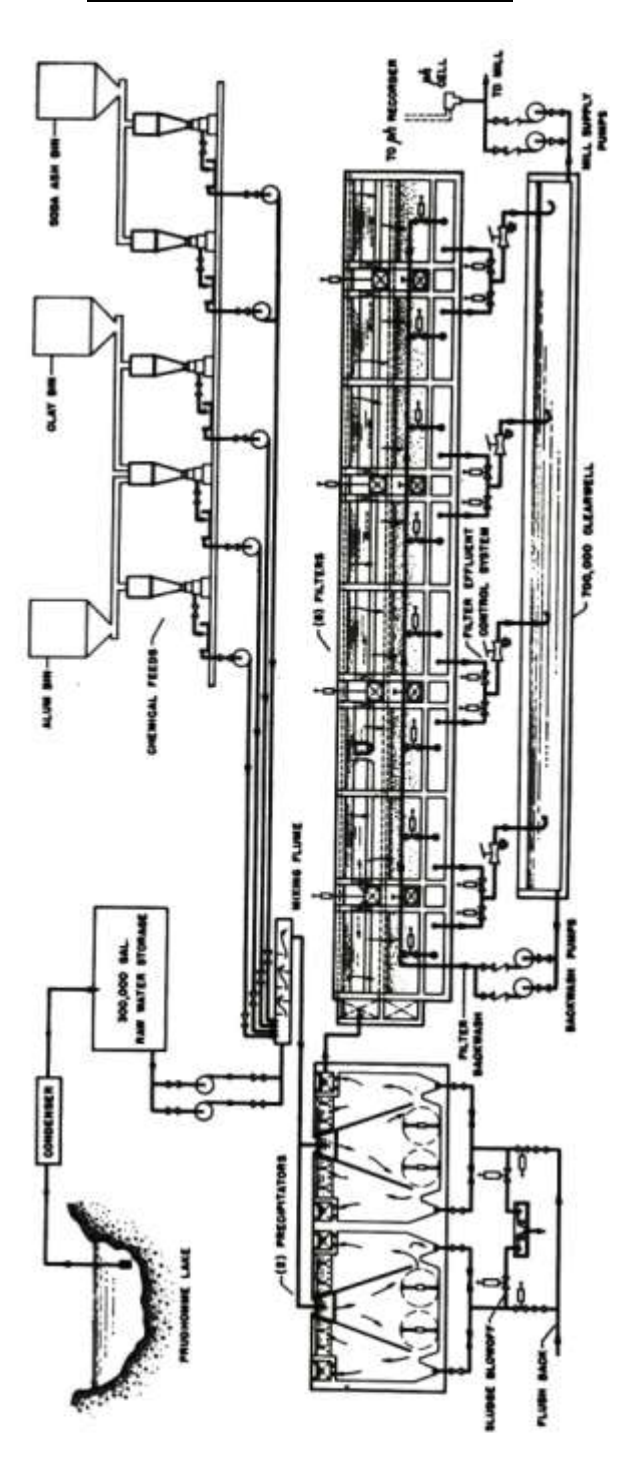
لاقى نموذج الدثار العكر (تلامس الجوامد المعلقة) من معدات معالجة المياه استخداماً واسعاً جداً من أجل التخثير والترويق ، إضافة لتيسير المياه بطريقة الكلس البارد (أو الكلس صودا) . وكما ذكرنا سابقاً في الفصل الخامس ، يمكن أيضاً القيام، في وقت واحد ، بعمليتي التيسير والتصفية للمياه التي تحتاج إليهما . ونقطة الاختلاف الرئيسية عن تصاميم معدات التخثير والترويق القديمة ، هي أن كل المياه المخثرة ، في نموذج الدثار العكر ، تُرَشّح صعوداً من خلال هذا الدثار المعلق . يعزز هذا التلامس الوثيق مع اللبادة المتشكلة سابقاً قدراتها الماصة ، بحيث تستخدم إلى أقصى مدى ، ويؤثر في توفير مواد التخثير والمواد الأخرى التي قد تستخدم ، مثل مساعدات مواد التخثير أو طين الكلس ، أو الكربون المنشط ، ويزودنا بنوعية ممتازة من الصبيب .

تصنع هذه المعدات في تصميمين : عمودي و أفقي (انظر الفصل 18 بخصوص الرسوم والمعلومات المفصلة لكلا التصميمين) . و باختصار ، تجري المياه أولاً ، في هذا النموذج من المعدات ، نزولاً خلال إحدى الحجرات المزودة بأجهزة تحريك آلية . وثانياً ، يعكس جريان المياه ، عند خروجه من قاع الحجرة الأولى ، ويرشّح صعوداً عبر دثار معلق من العكارة المترسبة سابقاً في حجرة ثانية, تزداد مساحة المقطع العرضاني فيها من الأسفل إلى الأعلى . وهذا ما يخفف من سرعة الماء في جريانه صعوداً ، بحيث يبلغ مستوى (يقع مباشرة تحت المستوى الذي يدخل عنده الماء الصاعد إلى نظام التصريف عند سقف الحجرة) تكون عنده سرعة المياه خفيفة جداً ، إلى الحد الذي لا يمكنها فيه حمل الجزيئات ، وقد اكتشفت، في التطبيق العملي ، أن هناك تخماً نقياً بين هذا السطح العلوي من دثار العكارة وعمق المياه المستقرة بينه وبين نظام التصريف .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

نحافظ على ارتفاع سطح دثار العكارة ضمن حدود معينة ، وذلك عن طريق استنزاف العكارة الجديدة المتشكلة . وينجز هذا الاستنزاف عادة بواسطة أجهزة لتركيز العكارة . وهي عبارة عن حجرات لا يجري فيها الماء صعوداً ، وبالتالي لا يمارس هنا فعل رفع العكارة إلى أعلى . ولذلك ، تستقر العكارة ضمن هذا الحجرات وتتركز . يمكن سحب العكارة المركزة إما على نحو متقطع أو مستمر .

والصبيب من هذا النموذج من معدات التخثير والترويق ، يكون نقياً ، ولكن بصورة نسبية لا كاملة . ولهذا السبب ، يتم ترشيح الصبيب قبل وضعه قيد الاستخدام ، إذا أردنا الحصول على درجة عالية من النقاوة . ومن الواضح، أن هذه الحالة تنطبق على المياه ، التي تعالج للاستخدام البلدي ، أو لبعض الاستخدامات الصناعية ، ولكن معظم مياه التبريد الصناعية ، وكثير من مياه المعالجة الصناعية ، لا تحتاج إلى مثل هذه الدرجة العالية من النقاوة ، وفي هذه الحالة ، تحذف مرحلة الترشيح . ومن جهة أخرى ، إذا كان يتوجب معالجة المياه إلى حد أبعد ، كما في مياه تغذية المراجل ، بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، أو بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، أو بطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، إذن يجب أن ترشح كل المياه اللازمة لهذه الاستخدام ، قبل إدخالها إلى معدات أخرى للمعالجة . وفي الصناعة ، حيث تستخدم منشأة مركزية واحدة لمعالجة المياه ، لتنقية ، و/ أو تيسير المورد المائي جزئياً ، يستخدم ، على نحو شائع تقريباً ، نموذج دثار العكارة من معدات التخثير والترويق ، لمعالجة كامل المياه ، وبعدئذٍ يتم فقط ترشيح تلك الأجزاء من الصبيب (غالباً 5% فقط من إجمالي المياه) التي تحتاج إلى معالجة أبعد .


SODA ASH BIN
CLAY BIN
ALUM BIN
CHEMICAL FEEDS
(8) FILTERS
FILTER EFFLUENT CONTROL SYSTEM
700,000 CLEARWELL
TO pH RECORDER
pH CELL
TO MILL
MILL SUPPLY PUMPS
MIXING FLUME
300,000 GAL. RAW WATER STORAGE
FILTER BACKWASH
BACKWASH PUMPS
CONDENSER
(2) PRECIPITATORS
PRUDHOMME LAKE
SLUDGE BLOWOFF
FLUSH BACK

الصورة 1 – 13 . رسم تخطيطي لمعدات تخثير ، و ترويق ، وترشيح ، تتألف من جهازي ترسيب أفقيين (وحدات لتلامس الجوامد المعلقة) ، وثمانية أجهزة ترشيح بالثقالة ، ومصنعاً للعجينة والورق ، في كندا . تزيل هذه المنشأة اللون العكارة من المياه السطحية الغامقة ذات العسرة والقلوية الخفيفتين . يتم في هذه المنشأة تخفيف اللون ، الذي يتراوح من 80 – 100 جزءاً، إلى 1 جزءاً و العكارة إلى 0.1 ppm وتبلغ طاقتها 16000000 جالون / د .

أدوات تشكيل اللبادة وأحواض الترسيب :

Flock Former & Settling Basings

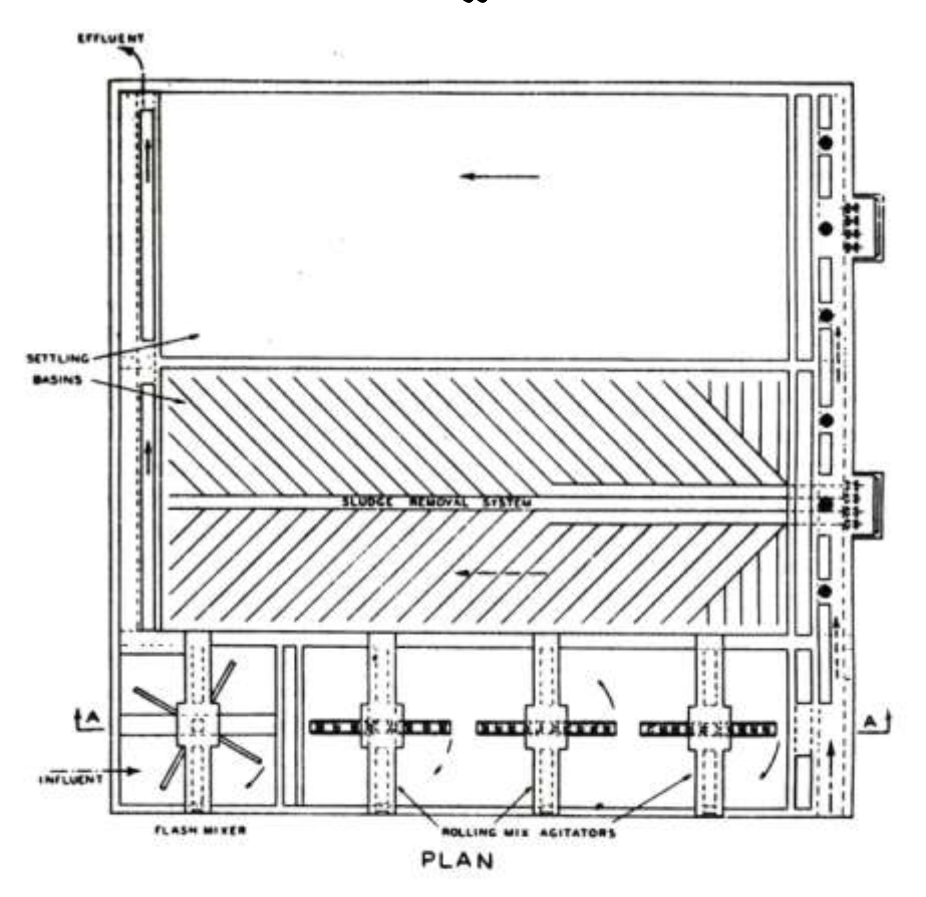
توضيح الصورة 2– 13 ، في رسم نموذجي ، نموذج تشكيل اللبادة من معدات التخثير والترويق ، ويتألف هذا النموذج من :

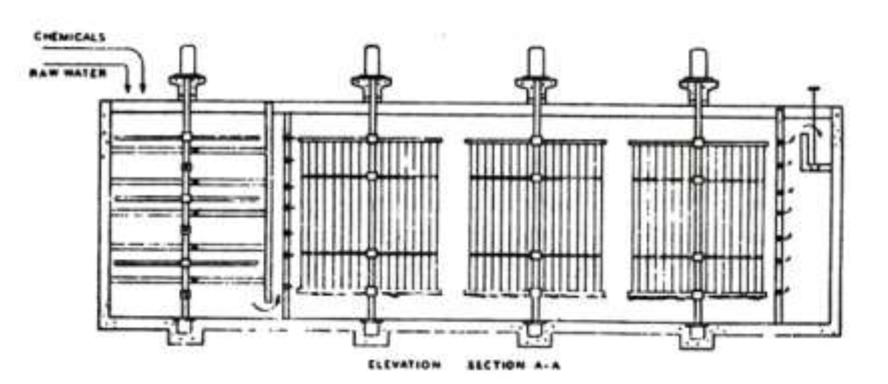
(1) خلاطة ومضية ، و (2) تليها حجرة دوارة أو أكثر ، و (3) حوض ترويق أو أكثر . والهدف من الخلاطة الومضية ، كما يدل عليه اسمها ، هو خلط مادة التخثير (إضافة إلى المواد الكيميائية أو العوامل الأخرى إذا لزم الأمر) بسرعة مع المياه الخام ، بواسطة خلاط سريع الدوران . يكون تفاعل المواد الكيميائية سريعاً أكثر عندما تتشكل الرسابة الجيلاتينية ، تكون على شكل جزئيات صغيرة جداً ، منتشرة بانتظام في الماء ، ولتشكل جزئيات أكبر من اللبادة .

بحيث تترسب بسهولة ، من الضروري توفير ظروف ، يمكن للجزئيات الصغيرة أن تتكدس بسهولة ضمنها في جزئيات أكبر . وقد اكتشف أن عنف التحريك ، يحول دون هذا التكدس ، ويميل لإبقاء الرسابات في حالة شتات ناعمة .

ولهذا السبب ، يستخدم ، بعد ذلك مباشرة ، مزج دوراني خفيف ، للمساعدة في تشكيل لبادة ذات جزيئات أكبر ، تترسب بسهولة . وعندما تتشكل هذه اللبادة ذات الجزئيات الكبيرة ، من المهم عدم إخضاعها لجريان عنيف ، لأنه يميل إلى تفتيتها وإعادة تشتيتها . ولذلك ، يجب أن تكون مساحة المقطع

الصورة 2 . 13 .





العرضي في القنوات التي تؤدي من محركات المزج الدوارة إلى حوض أو أحواض الترويق ، كبيرة بما يكفي لتفادي عنف الجريان . إن أحواض الترويق، التي تظهر

في الصورة 2– 13 ، هي من النموذج ذي المسلك الواحد . ويمكن أيضاً استخدام أحواض من نموذج المسلكين . وفي هذه النماذج ، ينقسم الحوض إلى جزأين بواسطة جدار ، بحيث يعبر الماء ، أثناء ترويقه ، ضعف المسافة التي يجب أن يعبرها في مسلك واحد من الطول نفسه . ومن المهم أيضاً تفادي قصر الدوران بقدر الإمكان ، لأن حوضاً يحتوي حجماً مكافئاً لفترة احتجاز مدتها ساعتان ، لا يقتضي بالضرورة أن يستغرق مرور الماء فيه مدة ساعتين . وفي الواقع ، إن قياسات الزمن الفعلي اللازم لمرور الماء عبر حوض ما ، تعطي أحياناً نتائج مذهلة .

يفيد في تفادي قصر الدوران ، إدخال الماء ، بشكل منتظم ، من هذه الجهة ، وسحبه ، بشكل منتظم أيضاً ، من الجهة المقابلة ، واستخدام أحواض ، لا تكون فيها مساحة المقطع العرضي كبيرة جداً . فإذا كان جريان الماء ، الذي نقوم بمعالجته ، كبيراً جداً ، بحيث يحتاج إلى حوض ، مساحة مقطعه العرضي كبيرة جداً ، فمن الأفضل تقسيمه طولانياً إلى أجزاء ، لا تكون مساحة المقاطع العرضانية فيها كبيرة جداً . وعموماً ، تصل فترة الإيقاف المستخدمة إلى حوالي 5–7 دقيقة بالنسبة لحجرة المزج الومضية ، و إلى حوالي 20 – 45 دقيقة بالنسبة لحجرات المزج الدورانية ، و إلى حوالي $1\,^{1}/_{2}$ – 2 ساعة بالنسبة لحوض الترويق . تشكل اللبادة ، التي تستقر في حوض الترويق ، عكارة يجب إزالتها على نحو متقطع أو مستمر . في الحوض الظاهر في الصورة 2– 13 ، تستخدم شبكة قرميدية لإزالة العكارة ، وتركب هذه الشبكة في قاع كل من الحوضين (على الرغم من عدم ظهور الشبكة الثانية في هذا الرسم ، فهي مشابهة للشبكة الأولى) ، وترتبط إلى صمامات تفتح بسرعة ، على فترات دورية ، لهدر العكارة . وكثيراً ما تستخدم الكاشطات في تصاميم أخرى من هذه الأحواض ، و تنظيم عادة من أجل التشغيل المستمر .

رابعاً . الترشيح : *Filtration*

إن نماذج المرشحات شائعة تقريباً ، وهي تلك التي تستخدم وسطاً حبيبياً للترشيح ، كالرمل الناعم أو الأنثرافيلت Anthrafilt ، تترشح من خلاله المياه نزولاً . وتعرف هذه النماذج عموماً بالمرشحات الرملية . وهناك نوع آخر للمرشح الرملي ، هو النموذج البطيء أو الإنكليزي . وهنا ما كانت تضاف مادة مخثرة ، وكان يجب " إنضاج" سرير الترشيح ، حتى تتشكل "طبقة من الراسب والنماءات الجرثومية على السطح ، قبل التمكن من إجراء ترشيح جيد . كانت سرعات الترشيح من خلال هذا النموذج بطيئة جداً ، إلى الحد الذي كان يتم التعبير معه عن معدلات الترشيح بعدد الجالونات في الأكر من مساحة سرير الترشيح . وتراوحت هذه عن معدلات البطيئة النموذجية من حوالي 3– 8 مليون جالوناً في الأكر يومياً . و بالتعبير الحديث ، فإن هذه الكمية تكافئ مدى يتراوح من 0.048 – 0.128 جالون / د / قدم^2 . وعندما كان المرشح الرملي يحتاج إلى تنظيف ، كانت تجرف الطبقات العليا من الرمل ، وتعزل ، وتغسل في أجهزة غسل دوراه ، وبعد ذلك تعاد إلى سرير الترشيح ومع أن عدداً من هذه المرشحات ما يزال قيد العمل ، ويقدم خدمة جيدة ، إلا أنه لم تنشأ وحدات جديدة من هذه النموذج منذ عدد من السنوات .

يستخدم اليوم المرشح الأمريكي أو مرشح الرمل ذو المعدل السريع . ولا يحتاج هذا النموذج من المرشح إلى سرير " منضج" . تستخدم مادة تخثير ، وعند بداية تشغيل المرشح . يكفي الترشيح إلى الهدر لمدة دقيقتين أو ثلاث عادة لتهيئة السرير . يصل معدل الترشيح في المرشحات الصناعية إلى 3 جالون / د / قدم^2 من مساحة السرير , ويبلغ معدل الاستخدام البلدي 2 جالون / د / قدم ^{2} (يحدد هذا في ولايات كثيرة من قبل الولاية الصحية) ، ولكن مع تلبد وترويق أفضل ، يميلون إلى رفع هذا المعدل .

وتقسم المرشحات ذات المعدل السريع إلى فئتين :

(1) المرشحات الضغطية

(2) المرشحات بالثقالة .

لكن المرشحات الضغطية تستخدم على نطاق أوسع من استخدام المرشحات بالثقالة ، وخصوصاً في المؤسسات الصناعية . ولكن المرشحات بالثقالة ، تستخدم على نحو شائع ، حيث تخثر كميات كبيرة من المياه ، و أو تروّق ، و / أو تيسر بطريقة الكلس البارد .

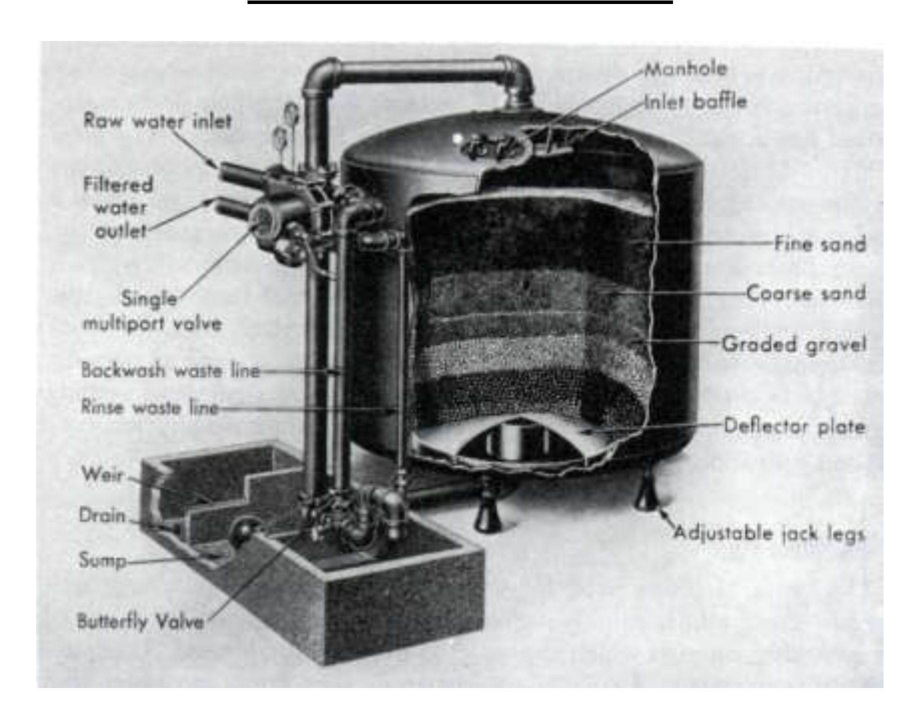
1ً. مرشحات النموذج الضغطي :

يجري تصنيع المرشحات الضغطية في نماذج عمودية (الصورة 3-13) وأفقية (الصورة 4 – 13) . وكما يظهر في الصورة ، تتألف المرشحات من أغلفة فولاذية أسطوانية ، ذات رؤوس مقعرة ، تحتوي على طبقة من وسط ترشيح حبيبي .(رمل أو أنثرافيلت) ، تعززها طبقات من حصىً متدرج (أو أنثرافيلت) ، ومزودة بشبكة الأنابيب والمصارف السفلية والصمامات الضرورية ، إلخ .

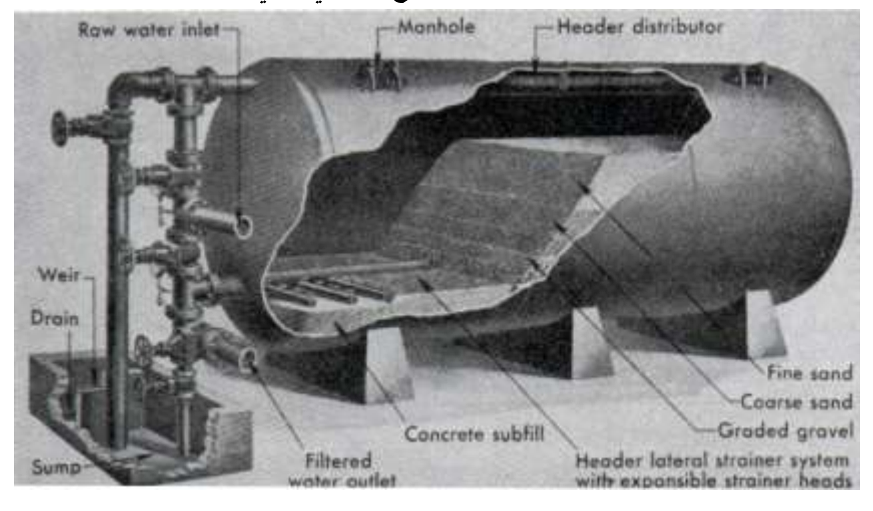
لإجراء دورات تشغيل (1) الترشيح , (2) الغسل الراجع , (3) الترشيح إلى الهدر.

يتراوح قطر المرشحات العمودية من 12-120 إنشاً ، و تتراوح طاقتها من 200- 235 جالون / د ، بمعدل قياسي يبلغ 3 جالون / د / قدم ^{2} من مساحة السرير . وتبلغ ارتفاعا تها عادة 5 قدماً في الجانب المستقيم للغلاف ، مع أنه يستخدم أحياناً ارتفاع 4 قدماً . ويبلغ قطر المرشحات الأفقية 8إنشاً ، ويتراوح طولها من 10.6 -25 إنشاً (بما فيها الرؤوس المقعرة) ، وتتراوح طاقتها من 102-516 جالون / د

الصورة 3 . 13 . مرشحة ضغطية عمودية .



الصورة 4 . 13 . مرشح ضغطي أفقي .



تتألف منشآت الترشيح ، اعتماداً على الاحتياجات ، من وحدة واحدة ، أو مجموعة من وحدتين أو أكثر . ويتضمن الجدول 9 – 13 قدرات وحدات مفردة ومجموعة مؤلفة من وحدتين إلى 6 وحدات من المرشحات الضغطية العمودية ، التي تتراوح من 30–120 إنشاً قطراً ، وذلك عند معدل 3 جالون / د / قدم^2 . ويتضمن الجدول 10– 13 قدرات وحدات مفردة ومجموعات مؤلفة من وحدتين إلى 6 وحدات ، عند معدل 3 جالون / د/ قدم^2 ، في المرشحات الضغطية الأفقية ذات القطر 8 إنشاً ، وطول يتراوح (بما فيه الرؤوس المقعرة) من 10.6– 25 إنشاً .

الجدول 9 . 13 . مرشحات عمودية : المساحات ، ومعدلات الغسل الراجع ، ومعدلات الترشيح في وحدة وفي مجموعة مؤلفة من وحدتين إلى ست وحدات ، عند معدل للجريان قدره 3 جالون / د / قدم^2 .

Diameter (inches)	Single-Unit Filter			Total Flow per Battery (gpm)				
	Area (sq ft)	B.W. (gpm)	Flow (gpm)	2 Units	3 Units	4 Units	5 Units	6 Units
30	4.9	49	15	30	45	60	75	90
36	7.1	70	21	42	63	85	105	125
42	9.6	96	29	58	87	115	145	175
48	12.6	126	38	75	113	150	190	225
54	15.9	159	48	95	143	190	240	285
60	19.6	196	59	118	177	235	295	355
66	23.8	238	71	143	215	285	375	430
72	28.3	283	85	170	255	340	425	510
78	33.2	332	100	200	300	400	500	600
84	38.5	385	116	230	350	460	580	695
90	44.2	442	133	265	400	530	665	795
96	50.3	503	150	300	450	605	755	905
102	56.8	568	170	340	510	680	850	1020
108	63.6	636	190	380	570	765	955	1145
120	78.5	785	235	470	705	945	1180	1415

ملاحظة : تحسب معدلات الغسل الراجع على أساس المساحة الإجمالية ، أما معدلات الترشيح فتحسب على أساس المساحة الصافية .

يجري الترشيح ، في وحدات الترشيح هذه عن طريق عبور الماء نزولاً من خلال سرير مؤلف من وسط ترشيح حبيبي ناعم ، معزز بعدة طبقات من مادة خشنة ، تكون أكثر خشونة في الأسفل . والرمل الناعم ، هو أقدم وسط للترشيح ، ويستخدم على نطاق واسع . ويليه الأنثرافيلت الناعم (الأنثراسيت المسحوق والمنخول) . ويستخدم الكلسيت المطحون والمتدرج في مرشحات التعادل . والفائدة من استخدام وسط ترشيح حبيبي ، هي أنه عند تنظيف المرشح بالغسل الراجع ، يتمدد السرير ، بحيث تتوسع الأحياز البينية إلى حد كبير ، فتحرر المادة اللاذوابة ، التي تكون تجمعت فيه أثناء سير الترشيح .

الجدول 10 . 13 . مرشحات أفقية : المساحات ، ومعدلات الغسل الراجع ، ومعدلات الترشيح في وحدة وفي مجموعة مؤلفة من مجموعتين إلى ست مجموعات لمرشحات أفقية بقطر 8 إنشاً ، عند معدل للجريان قدره 3 جالون / د / قدم^2 .

Length	Single-Unit Filter			Total Flow per Battery (gpm)				
	Area (sq ft net)	B.W. (gpm)	Flow (gpm)	2 Units	3 Units	4 Units	5 Units	6 Units
10′6″	67	840	201	400	600	800	1000	1200
12′2″	79	960	237	475	710	1050	1185	1420
14′5″	95	1140	285	570	855	1140	1425	1710
16′5″	109	1300	327	655	980	1310	1635	1960
18′3″	124	1460	372	745	1115	1490	1860	2230
20′2″	137	1600	411	820	1235	1645	2055	2465
25′0″	172	2000	516	1030	1550	2065	2580	3095

NOTE: Backwash rates are based on total areas while filtration rates are based on net areas.

<u>وسط الترشيح : رمل وحصى :</u>

مع المرشحات الرملية ، يمكن أن تكون الطبقات من الأعلى إلى الأسفل في مرشحة الضغط العمودية النموذجية كما يلي :

طبقة 12 إنشاً من الرمل الناعم– الحجم الفعال 0.45 – 0.5 مم

طبقة 10 إنشاً من الرمل الخشن – الحجم الفعال 0.8 – 1.2 مم

طبقة 4 إنشاً من الحصى الناعم− $^{1}/_{8}$ − $^{1}/_{4}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من حصى متوسط− $^{1}/_{4}$ − $^{1}/_{2}$ إنشاً

طبقة 8 إنشاً من حصى خشن − $^{1}/_{2}$ − 1 إنشاً

تستخدم حول اللوح ، في التصميم اللوحي للجهاز الحارف ، طبقة ثقيلة من الحصى (1 − $1\,^{1}/_{2}$ إنشاً) .

ومع المرشحات الضغطية الأفقية ، يمكن أن تكون طبقات الرمل والحصى كما يلي :

طبقة 18 إنشاً من الرمل الناعم − الحجم الفعال 0.45− 0.5 مم

طبقة 10 إنشاً من الرمل الخشن − الحجم الفعال 0.8 − 1.2 مم

طبقة 6 إنشاً من الحصى الناعم − $^{1}/_{8}$ − $^{1}/_{4}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من الحصى المتوسط− $^{1}/_{4}$− $^{1}/_{2}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من الحصى الخشن− $^{1}/_{2}$ − 1 إنشاً

وسط الترشيح : انثرافيلت .

مع مرشحات الأنثرافيلت Anthrafilt (الأنثراسيت Anthracite) ، العمودية تكون الطبقات من الأعلى إلى الأسفل ، كما :

طبقة أنثرافيلت 18 إنشاً − الحجم الفعال 0.55− 0.65 مم

طبقة أنثرافيلت 9 إنشاً − $^{3}/_{32}$ − $^{3}/_{16}$ إنشاً

طبقة أنثرافيلت 9 إنشاً − $^{5}/_{16}$ − $^{9}/_{16}$ إنشاً

ومع التصميم المصرف السفلي اللوحي للحارف ، تستخدم طبقة من الأنثرافيلت ($^{13}/_{16}$ − $1\,^{5}/_{8}$ إنشاً) حول اللوح .

ومع المرشحات الضغطية الأفقية ، يمكن أن تكون طبقات الأنثرافيلت كما يلي :

طبقة أنثرافيلت ناعم 18 إنشاً − الحجم الفعال 0.4 − 0.6 مم

طبقة الأنثرافيلت خشن 6 إنشاً − 1مم

طبقة أنثرافيلت 4 – $^{3}/_{32}$ – $^{3}/_{16}$ إنشاً
طبقة أنثرافيلت 4 – $^{5}/_{16}$ _ $^{9}/_{16}$ إنشاً
طبقة أنثرافيلت 4 – $^{9}/_{16}$ – $^{3}/_{16}$ إنشاً
طبقة أنثرافيلت 6 – $^{13}/_{16}$ – $1\ ^{5}/_{8}$ إنشاً

شبكة التصريف السفلية ، تستقر هذه الطبقات من الرمل والحصى أو الأنترافليت فوق شبكة المجمِّع – الموزع ، التي تؤدي غرضاً مضاعفاً :

(1) التجميع المنتظم للمياه المرشَّح أثناء سير الترشيح ، وتمريره إلى منفذ المرشِّح و (2) التوزيع المتعادل لمياه الغسل الراجع أثناء عملية التنظيف ، بحيث يغسل كل جزء من السرير بالتساوي .

وتختلف تصاميم هذه الشبكة السفلية للتصريف: يظهر نموذجان في رسوم الغسل في الصورتين 3 – 13 و 4 – 13 . أولهما ، ذاك الذي يستخدم على نطاق في المرشحات العمودية ، ويتألف من لوح حارف ، تبتعد حافته السفلية بشكل منتظم جزءاً محدداً من إنش واحد فوق السطح المقعر لقاع غلاف المرشح ، وتفيد في طرح الحقن الأسمنتي في الأنابيب الرئيسية والجانبية ، كما يظهر في التصميم الأفقي .

تتألف شبكة الأنابيب الرئيسية والجانبية ، كما يظهر في الصورة 4 – 13 من خطوط رئيسية وجانبية ، مزودة عادة بمصافٍ ، وتستقر فوق حشوة ثانوية من الكونكريت ، ويرفع الحقن الإسمنتي بحيث تبرز فوقه المصافي فقط . واستخدمت على نطاق محدود الخطوط الجانبية المثقبة ، لكنها عادة لا تعتبر مرضية كالشبكات، التي تستفيد من رؤوس المصافي . وتستخدم على نطاق محدود أيضاً ، الشبكات الرئيسية والجانبية في المرشحات العمودية ، إضافة إلى التصاميم الأفقية لمرشحات الضغط .

رؤوس المصافي :

قد تصنع رؤوس المصافي ، كما يظهر في الصورة 5 – 13 من البلاستيك ، وتزود بثقوب منظمة بشكل أفقي . ويمكن أيضاً صنع مصافٍ من التصميم نفسه من النحاس الأصفر أو الستانلس ستيل . وهناك نمط آخر ، كما يظهر في الصورة 6 – 13 ، هو رأس قابل للتمدد من البرونز أو النحاس الأصفر ، يحمل لوحاً عمودياً قلاباً لا رجعياً متحركاً تحت غطائه الشبيه بالمظلة ، وخلال الترشيح يكون اللوح القلاب هذا في الأسفل ، وبذلك يهيئ فتحة أصغر لجمع الماء المرشح أثناء الترشيح . وأثناء الغسل الراجع . يتحرك اللوح القلاب عمودياً نحو الأعلى ، وبذلك يهيئ فتحة أكبر لدفق أكبر من ماء الغسل الراجع .

ملاحظة : هناك نموذجان آخران من المصافي ، أحدهما من الخزف ، للاستخدام في نموذج المونوكريت Monocrete لشبكة التصريف السفلية في مرشحات الثقالة ، وثانيهما من البلاستيك ، في مرشحات الثقالة الآلية العديمة الصمامات . وسنرى هذين النموذجين في مكان آخر من هذا الفصل .

عوارض أو حواجز الإدخال : Inlet Baffles or Headers

في التصميم العمودي للمرشح الضغطي ، يحرف جريان الماء الداخل بواسطة عارضة إدخال مركبة أفقياً ، كما يظهر في أعلى الغلاف في الصورة 3 – 13 . والغرض من هذه العارضة ، هو حرف الجريان ، بحيث لا يصطدم الماء مباشرة بسطح سرير الترشيح ويفسد انتظامه ، كما يسحب ماء الغسل الراجع إلى فوق هذه العارضة أثناء الغسل الراجع . يستخدم في النموذج الأفقي من المرشح موزع مثقب ، لنثر الماء الداخل بصورة منتظمة أثناء الترشيح ، ويسحب ماء الغسل الراجع بانتظام أثناء عملية الغسل الراجع (انظر الشكل 4– 13) .

الصورة 5 . 13 . رأس مصفاة بلاستيكي .



الصورة 6 . 13 . رأس مصفاة من النحاس الأصفر من النموذج القابل للتمدد
(أثناء الغسل الراجع)



مفاتيح التحكم بمعدل الجريان مياه الغسل :

يظهر في الصورة 3 – 13 مفتاح بسيط للتحكم بمعدل الجريان من أجل الغسل الراجع . وكما نرى ، يدخل ماء الغسل إلى مجمع مزود بسد صغير (أو لوح ذي فتحة) بواسطة أنبوب يحتوي على صمام خانق ذي قرص يشغل بعوامة . يعمل هؤلاء للمحافظة على سرعة ثابتة للغسل الراجع ، عن طريق المحافظة الآلية على ذروة محدد للماء فوق حجم محدد للسد (أو فوق عدد ما من الفتحات في لوح ذي فتحة) . وتستخدم أيضاً مفاتيح للتحكم بسرعة الجريان تعمل فوق أنبوب فنتوري ، ووفقاً لمبادئ الخنق الآلي في ضبط معدل الغسل الراجع .

وعند ما تستخدم مفاتيح التحكم على هذا النحو ، فإننا نحتاج إلى مفتاح واحد في كل مجموعة ترشيح ، ويتم غسل وحدة ترشيح فقط في كل مرة .

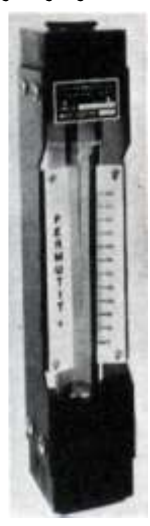
مقاييس فقدان الضغط :

تزود المرشحات التي يزيد قطرها عن 30 إنشاً بمقاييس لفقدان الضغط . وهي ضرورية جداً ، لأنها تشعرنا بحاجة وحدة الترشيح للغسل الراجع عند اللزوم . ويمكن استخدام مقياس مزدوج ، مزود بقرص يحمل مؤشرين ، مرتبط هيدرولياً بأنابيب الدخول والخروج ، أو أن نستخدم مقاييس منفصلة على أنابيب الدخول والخروج . هذه المقاييس مدرجة بالباوند / إنش^2 (Psig) . وفي المعتاد يتم الغسل الراجع عندما يرتفع الفرق بين ضغط الدخول والخروج إلى أكثر من 5 – 8 ليبرة .

مؤشرات معدلات الجريان :

يظهر في الصورة 7– 13 شكل بسيط من هذه المؤشرات ، ويدلنا هذا المؤشر على معدل الجريان أثناء الترشيح و أثناء عملية الغسل الراجع . وتجري يدوياً عملية التعديل في الصمامات من أجل جريان مناسب .

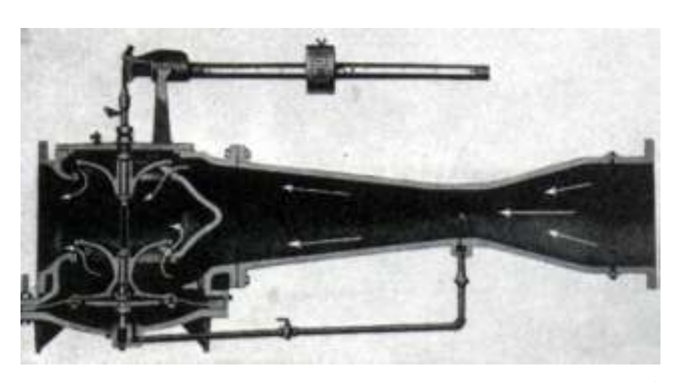
الصورة 7 . 13 . مؤشر سرعة الجريان .



مفاتيح التحكم بمعدلات الجريان :

حيثما نحتاج إلى الضبط الآلي لمعدل الترشيح في كل وحدة من مجموعة الترشيح يمكننا استخدام معدل مفاتيح التحكم بالجريان ، كما نرى في الصورة 8– 13 . ويمكن لهذه المفاتيح أن تحافظ على معدل الجريان ، ضمن زيادة أو نقص 5% من المعدل ، الذي تم تركيبها من أجله . وتعمل عن طريق استخدام فروق الضغط ، المتكونة في أنبوب فنتوري لتشغيل آلية الخنق ، التي تضبط جريان الماء .

الصورة 8 . 13 . مفتاح للتحكم بمعدل الجريان .

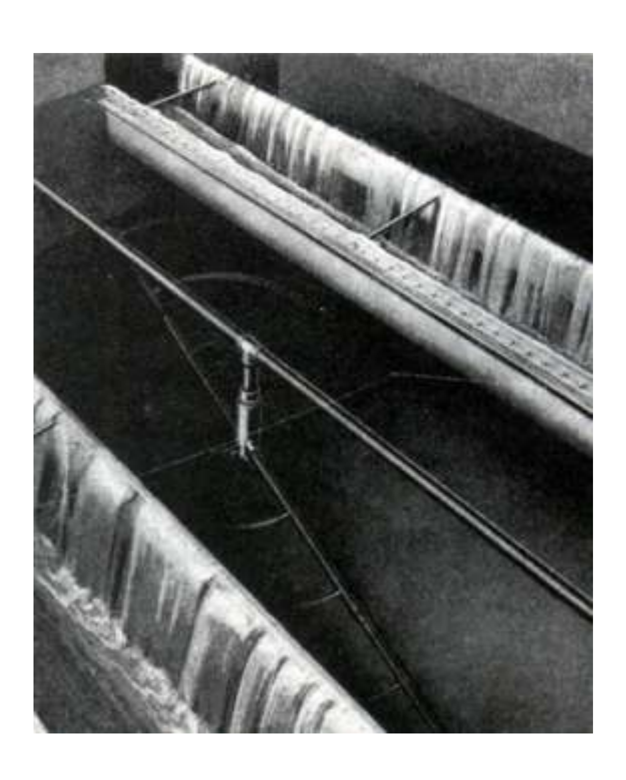


غسالات السطح الرحوية :

أثبتت هذه الغسالات أهميتها في المساعدة على تنظيف سرير الترشيح ، والحيلولة دون تشكل الكرات الطينية . وتتألف الغسالة من زوج من الأذرع الأنبوبية الأفقية ، والقابلة للدوران ، مركبة مباشرة فوق أعلى السرير . وهذه الأذرع مزودة بعدد من المنافث ، موجهة نحو الأسفل ، إلى زاوية من زوايا سطح السرير ، وتكون الخراطيم فوق هذا الذراع من الجهة المعاكسة لمثيلاتها فوق ذراع آخر . وخلال عملية الغسل الراجع تجري تغذية الغسالة السطحية الرحوية بالماء عند ضغط عالٍ مقداره 50 – 75 باونداً / إنش^2 Psig ، يجعل المنافث تعمل بسرعة عالية .

يفكك الماء ، بسرعة العالية ، المادة اللزجة عن حبيبات الرمل ، ويحطم الكرات الطينية الناشئة ، بحيث يمكن لماء الغسل الراجع أن يعلّق المادة الغريبة المتفككة ، ويحملها إلى المصرف . كما في مرشات العشب الدوارة المعروفة ، تسبب سرعة الماء في المنافث دوران الأذرع ، وهكذا يخضع كل جزء بدوره من طبقات السرير العليا لغسل عالي السرعة ، كانت الأشكال السابقة للغسالات السطحية ، تصمم بحيث يغسل كامل السطح في وقت واحد ، ولهذا كانت تحتاج لأن يكون جريان الماء عالياً جداً . وبالمقابل ، تحتاج الغسالات السطحية الرحوية إلى حوالي $^1/_2$ – 1 جالوناً من الجريان في الدقيقة لكل قدم مربع من مساحة السرير .

الصورة 9 . 13 . غسالة سطحية رحوية .



تشغيل المرشح :

عند توضع وحدة الترشيح موضع التشغيل لتجربة الترشيح ، فإنها تقوم أولاً بـ " الترشيح إلى الهدر " على مدى بضع دقائق . وهذا لأن الفعل الترشيحي الجيد لا يتأمن حتى يستقر السرير ، وتراكم كمية بسيطة من اللبادة . يتم بسهولة تحديد فعالية الترشيح ، عن طريق أخذ العينات متتالية من الصبيب ، وفحص نقاوتها . وحالما يجري الصبيب نقياً ، يتم توقيف عملية الترشيح إلى الهدر ، وتوضع وحدة الترشيح موضع الخدمة . تشغل المرشحات الضغطية عادة بجريان سرعته 3 جالوناً / د / قدم ^{2} من مساحة سرير الترشيح ، ولا يجب أن يتجاوز المعدل ، في التطبيق العملي الجيد ، هذا الرقم ، إلا في بعض الاستخدامات الخاصة. وبعدئذٍ يستمر شوط الترشيح ، حتى تظهر مقاييس فقدان الضغط ، رقماً لفقدان الضغط يكفي للإشارة إلى أن الوحدة يجب أن تغسل رجوعياً . وقد يختلف هذا الرقم ، إلى حد ما ، بين منشأة وأخرى ، لكن المرشحات لا تغسل رجوعياً عادة قبل أن يظهر فقدان ضغط مقداره 5 باونداً / إنش ^{2} ، وقلما تستمر أشواط الترشيح عندما يشير رقم فقدان الضغط إلى أكثر من 8 باونداً / إنش^2 .

ملاحظة :

إن معدل 3 جالون / د / قدم^2 ، هو المعدل القياسي في التطبيق العملي في الصناعة ، والمعدل المحدد ، هو 2 جالون / د / قدم^2 .

ومن الواضح ، أن طول شوط الترشيح يعتمد على كمية وطبيعة المواد اللاذوابة في الصبيب . وسيزيل التخثير والترويق الجيدين ، قبل المرشحات ، الجزء الأكبر من المواد اللاذوابة ، ولهذا السبب ، تتطاول كثيراً أشواط الترشيح . ويتزايد استخدام نموذج دثار العكارة من معدات التخثير في المعالجة الأولية في منشآت ترشيح المياه ، بسبب فعاليته في إزالة المواد اللاذوابة . وتؤثر طبيعة المواد الغير ذوابة أيضاً بطول شوط الترشيح ، لأن بعضها يشكل رواسب أقل

نفوذية من رواسب أخرى . وعندما تشير مقاييس فقدان الضغط على ضرورة غسل وحدة الترشيح رجوعاً ، يجري توقيف تلك الوحدة عن العمل ، وتغسل رجوعياً ، ثم تجريبياً بالترشيح إلى الهدر ، وبعد ذلك ، تعاد إلى الخدمة ، وتستغرق هذه العمليات عادة 15 دقيقة . يجري عادة تشغيل المرشحات في مجموعات مؤلفة من وحدتين أو أكثر ، وتعيرّ بحيث إذا أوقفت وحدة من أجل الغسل الراجع ، تقوم الوحدة أو الوحدات الأخرى بعبء كامل الحمل . إذا كانت المجموعة مؤلفة من أربع وحدات أو أكثر ، وإذا كان يمكن غسلها في أوقات التوقف يمكن غسل كل وحدة بدورها من صبيب الوحدات الأخرى . وفي الحالات الأخرى ، تغسل المرشحات رجوعياً بـ :

(1) ماء مرشح من حوض تخزين مرتفع ، أو من ماء بئر نقي (مزودة عادة بمضخة مستقلة للغسل الراجع) .

(2) الماء الرائق من صهريج الترسيب .

(3) ماء الخام .

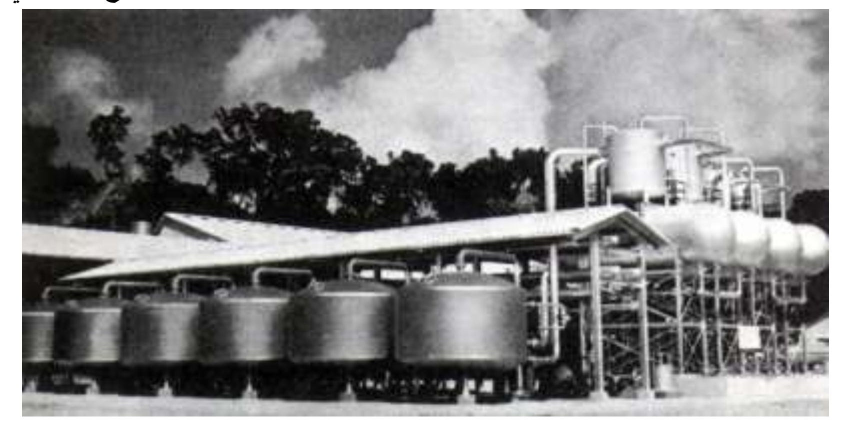
ويستخدم هذا فقط عند احتواء المورد على كمية بسيطة من المادة المعلقة كما في صناعة ما ، تستخدم مورداً بلدياً يكون آمناً لأغراض الشرب ، لكن لا يكون نقياً تماماً .

يبلغ المعدل الأصغري للجريان من أجل الغسل الراجع للمرشحات الضغطية 10 جالوناً / د / قدم ^{2} من مساحة السرير ، وتفضل معدلات أعلى . واستخدام غسالة السطح الرحوية ، كما ذكرنا سابقاً ، يساعد كثيراً في عمليات الغسل الراجع . تستمر عملية الغسل الراجع عادة لمدة 8 – 10 دقيقة ، وفي التطبيق لا تستخدم إلى النهاية الفترة ، لأن ذلك يعني فترة أطول للترشيح إلى الهدر . ولكنهم يميلون حديثاً إلى تنظيف أسرة الترشيح على نحو أكثر شمولاً ، واكتشف أن غسل السطح يساعد بشكل مهم في عملية الغسل الراجع . لا يمكن

التشديد بقوة على أن معدل الغسل الراجع الأصغري المحدد للجريان ، يعني فعلاً أنه أصغري ، فإذا كان المعدل الأصغري 10 جالون / د / قدم^2 من مساحة السرير ، فإن الغسل الراجع إذا كان ضعف معدل 5 جالون / د / قدم^2 سوف لن يكفي لغسل السرير ، لأن الأوساخ المحمولة لن تستجيب لأي استنتاج واسع . فكلما . كانت كمية المادة المعلقة كبيرة ، كلما كان معدل الترشيح عالياً ، ومعدل الغسل منخفضاً ، كلها عوامل يمكن تسبب حشو السرير ، وتلالاً حصوية ، وأخيراً انقلاب السرير ، فنحتاج بالتالي إلى تفريغ وحدات الترشيح ، وإعادة وضع الحصى ، ووسط الترشيح .



الصورة 10 . 13 . مجموعة مؤلفة من ست مرشحات عمودية من النموذج الضغطي .



ملاحظة :

يمثل سطح السرير المحشو أحياناً مظهراً معّرقاً مميزاً ، بحواف منكمشه عن جوانب الغلاف . يمكن إجراء السبر من أجل الحصى بمسطرة طيّ معدنية أو بأنبوب طوله $^1/_8$ إنشاً . ويدفع المسبر نزولاً عبر السرير المجفف ، حتى يواجه مقاومة واضحة من الحصى . يمكن أحياناً تسوية أكداس الحصى الضئيلة بمسها مساً متأنياً ، ولكنها إذا كانت خطيرة ، ينصح بتفريغ المرشح ، وإعادة رصف السرير . وفي هذه الحالات ، ما لم تكن وحدات الترشيح كبيرة جداً ، يكون شراء عبوات جديدة رخيصاً عادة أكثر من محاولة تجديد نخل المادة القديمة وتغطيتها .

لا يحدث ربط الهواء في أسرة الترشيح الضغطية . لأن ذوبانية الهواء في الماء تحت الضغط في المرشح ، يبلغ عدة أضعاف ذوبانيته في الماء عند الضغط الجوي . فمثلاً ، إذا كان الماء الذي يدخل المرشح مشبعاً بالهواء عند الضغط (15 باونداً في الإنش المربع psia) ، وإذا كان الضغط في أعلى المرشح 50 pisg (6 spia) ، و فقدان الضغط 5 باونداً / إنش^2 عند عبوره من سرير المرشح ، يكون أخفض ضغط في المرشح 65 – 50 أو 6 psia ، وبما أن ذوبانية الهواء في الماء تتناسب مع الضغط المطلق فإن الماء يحتوى ، عند أخفض ضغط في المرشح ، فقط $^1/_4$ الهواء الذي يمكنه أن يحتجزه عند الضغط الجوي .

مرشحات الثقالة :

كما ذكرنا سابقاً ، لا تستخدم المرشحات من نموذج الثقالة على نطاق واسع في الصناعة كالمرشحات من النموذج الضغطي . ولكنها تستخدم على نطاق محدود . وتشغل في الاستخدام الصناعي بمعدل ترشيح مقداره 2 جالون / د / قدم^2 من مساحة سرير الترشيح ، وفي التطبيق البلدي مقداره 2 جالون / د / قدم^2 ، ويحدده عدد من الهيئات الصحية الحكومية . ويشير التطبيق الحديث إلى ميل لزيادة هذا المعدل ، وقد يكون هذا ممكناً مع تحسين التخثير والترويق قبل الترشيح .

يتضمن الجدول 11 – 13 حجوماً مقترحة لوحدات بالثقالة ، تقوم على أساس معدلات ترشيح 2و3 جالون / د / قدم^2 . واستخدمت في هذا الجدول أيضاً للأنابيب لتلائم معدل الغسل الراجع ، والذي يبلغ 20 جالون / د . وقد اقترح ، و إلى مدى محدد ، أن تقوم معدلات الغسل الراجع ، عند استخدام المياه السطحية ، على أساس تمدد سرير المرشح ، لأن الجريان الفعلي يكون أقل في الشتاء عندما تكون لزوجة الماء أعلى ، ويكون الجريان أكبر في الصيف عندما

تكون اللزوجة أدنى . انظر أيضاً الملاحظة تحت هذا الجدول فيما يتعلق بمعدلات الغسل الراجع عند استخدام غسالات السطح الرحوية .

يمكن أن تصنع مرشحات الثقالة من الكونكريت ، أو الفولاذ ، أو الخشب ، ولكن الكونكريت ، هو المادة المستخدمة على نطاق شامل تقريباً . والشكل المستطيل أيضاً ، هو الشكل الأوسع انتشاراً ، ويقوم العدد و الأبعاد المقترحة للوحدات ، في الجدول 11– 3 ، على أساس التطبيق الشائع . وقد تقود الظروف المحلية طبعاً إلى استخدام أشكال أخرى من علب الترشيح وعدد من الوحدات في المنشأة .

ملاحظات على الجدول 11 . 13 :

(1) صنفت وصلات صبيب المرشح حجماً من أجل حدد أقصى من الخسارة في الأنابيب مقدارها 2.5 قدماً / 100 قدماً .

(2) صنفت مُرَكِّبات صبيب المرشح لتأمين خسارة إجمالية في الأنابيب مقدارها 12 إنشاً .

(3) تم اختيار مفتاح ضبط مدخل الغسل الراجع والصمامات وشبكة الأنابيب من أجل حد أقصى مقداره 10 قدماً / ثا وخسارة حدها الأقصى 5 قدماً / 100 .

(4) صنفت صمامات الغسل الراجع وشبكة الأنابيب من أجل خسارة أقصاها10 قدماً / ثا و2 قدماً / 100

(5) صنفت شبكة أنابيب الترشيح إلى الهدر لتسمح لمعدل 2 جالون / د / قدم^2 بشبكة أنابيب طبيعية.

(6) تحتاج غسالة السطح المسطحة إلى المنافث . وتحتاج شبكة الأنابيب المسطحة إلى 5 باونداً / إنش^2 عند الصمام .

(7) تقوم جريان الغسل الراجع السطحية على أساس معدل 20 جالون / د / قدم^2 . ويوصى بها في المرشحات الرملية بدون غسالات سطحية . و ينصح بمعدل 15 جالون / د / قدم^2 لمرشحات الأنثرافيلت بدون غسالات سطحية ، أو المرشحات الرملية مع غسالات سطحية . بنجاح غسل وحدات الأنثرافيلت رجوعياً بالغسالات السطحية عند 12 جالوناً / د / قدم^2 .

(8) تقوم معلومات السرعة على أساس معدلات التصميم السطحية . وتقوم معلومات الخسارة على أساس المعدلات السطحية وشبكة الأنابيب الطبيعية . تسمح الجريانات الأدنى ، بصورة طبيعية ، بإنقاص حجوم المرُكِّبات .

جدول 11 . 13 حجوم ومعلومات مقترحة لمنشآت الترشيح بالثقالة ،

تتراوح طاقتها من 70000 . 5000000 جالون / د .

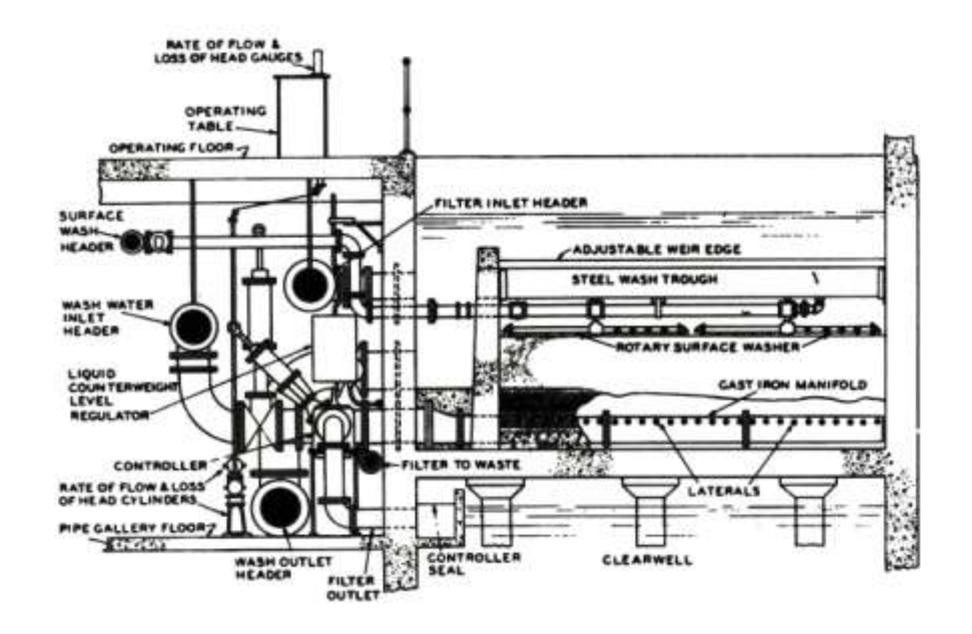
Plant Capacity		General Data					Valve and Controller Sizes					Rotary Surface Washers			
(gpm)	(mgd)	Number of Filters	Size	Area (sq ft)	Filtration Rate (gpm/sq ft)	Backwash Rate (gpm)	Filter Influent Valve	Filter Effluent Valve and Controller	Backwash Inlet Valve and Controller	Backwash Outlet Valve	Filter to Waste Valve	Number	Radius each Arm	Valve Size	Pressure at Nozzles (psi)
2 gpm/sq ft Filtration Rate												*20 gpm/sq ft Backwash Rate*			
50	0.07	1	5'0" × 5'0"	25	2	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
75	0.11	2	5'0" × 5'0"	25	1.5	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
100	0.14	2	5'0" × 5'0"	25	2	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
150	0.22	2	5'0" × 7'6"	37.5	2	750	4"	3"	8"	8"	3"	1	2'3"	1½"	50
200	0.29	2	6'0" × 9'0"	54	1.85	1080	5"	3"	8"	8"	3"	1	2'9"	2"	50
250	0.36	2	7'6" × 10'0"	75	1.67	1500	5"	4"	10"	10"	4"	1	3'6"	2"	50
300	0.43	2	7'6" × 10'0"	75	2.0	1500	6"	5"	10"	10"	4"	1	3'6"	2"	50
350	0.50	2	8'0" × 11'0"	88	1.99	1760	6"	5"	10"	10"	4"	1	3'9"	2½"	50
400	0.58	2	9'0" × 12'0"	108	1.85	2160	8"	6"	10"	12"	4"	1	4'3"	3"	50
500	0.72	2	9'0" × 14'0"	126	1.98	2520	8"	6"	12"	12"	5"	1	4'3"	3"	50
600	0.86	2	10'0" × 15'0"	150	2.0	3000	8"	8"	12"	14"	5"	2	3'6"	3"	50
700	1.00	2	12'0" × 15'0"	180	1.94	3600	8"	8"	12"	14"	5"	1	5'9"	4"	75
870	1.25	2	12'0" × 18'0"	216	2.01	4320	10"	8"	14"	14"	6"	2	4'3"	4"	50
1040	1.50	2	12'0" × 21'0"	252	2.06	5040	10"	8"	16"	16"	6"	2	4'9"	4"	50
1390	2.00	4	12'0" × 15'0"	180	1.93	3600	8"	8"	12"	14"	5"	1	5'9"	4"	75
1740	2.50	4	12'0" × 18'0"	216	2.01	4320	10"	8"	14"	14"	6"	2	4'3"	4"	50
2080	3.00	4	12'0" × 21'0"	252	2.06	5040	10"	8"	16"	16"	6"	2	4'9"	4"	50
2780	4.00	4	15'0" × 24'0"	360	1.93	7200	12"	10"	20"	20"	8"	2	5'9"	5"	50
3470	5.00	4	18'0" × 24'0"	432	2.00	8640	12"	12"	24"	24"	8"	4	4'3"	5"	50

50	0.07	1	5'0" × 5'0"	25	2	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
75	0.11	1	5'0" × 5'0"	25	3	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
100	0.14	2	5'0" × 5'0"	25	2	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
150	0.22	2	5'0" × 5'0"	25	3	500	4"	3"	6"	6"	2"	1	2'3"	1¼"	50
200	0.29	2	5'0" × 7'6"	37.5	2.68	750	5"	3"	8"	8"	3"	1	2'3"	1½"	50
250	0.36	2	5'0" × 9'0"	45	2.78	900	5"	4"	8"	8"	3"	1	2'3"	2"	50
300	0.43	2	6'0" × 9'0"	54	2.78	1080	6"	5"	8"	8"	3"	1	2'9"	2"	50
350	0.50	2	6'0" × 11'0"	66	2.65	1320	6"	5"	8"	10"	3"	1	2'9"	2"	75
400	0.58	2	7'6" × 10'0"	75	2.67	1500	8"	6"	10"	10"	4"	1	3'6"	2"	50
500	0.72	2	8'0" × 11'0"	88	2.84	1760	8"	6"	10"	10"	4"	1	3'9"	2½"	50
600	0.86	2	9'0" × 12'0"	108	2.78	2160	8"	8"	10"	12"	4"	1	4'3"	3"	50
700	1.00	2	9'0" × 13'0"	117	2.99	2340	8"	8"	10"	12"	4"	1	4'3"	3"	50
870	1.25	2	10'0" × 15'0"	150	2.9	3000	10"	8"	12"	14"	5"	2	3'6"	3"	50
1040	1.50	2	12'0" × 15'0"	180	2.89	3600	10"	8"	12"	14"	5"	1	5'9"	4"	75
1390	2.00	4	9'0" × 13'0"	117	2.97	2340	8"	8"	10"	12"	4"	1	4'3"	3"	50
1740	2.50	4	10'0" × 15'0"	150	2.91	3000	10"	8"	12"	14"	5"	2	3'6"	3"	50
2080	3.00	4	12'0" × 15'0"	180	2.89	3600	10"	8"	12"	14"	5"	1	5'9"	4"	75
2780	4.00	4	12'0" × 21'0"	252	2.76	5040	12"	10"	16"	16"	6"	2	4'9"	4"	50
3470	5.00	4	15'0" × 21'0"	315	2.76	6300	12"	12"	18"	18"	6"	2	5'0"	4"	75

NOTES: (1) Filter influent connections sized for 2.5 ft/sec and 0.5 ft/100 ft pipe loss max. (2) Filter effluent components sized to provide 12-inch overall pipe loss. (3) Backwash inlet controller, valves and piping selected for 10 ft/sec max. and max. loss 5 ft/100. (4) Backwash outlet valves and piping sized for 10 ft/sec and for 3 ft/100 loss max. (5) Filter-to-waste piping sized to permit a 2-gpm/sq ft rate with normal piping. (6) Tabular surface washer pressures required at nozzles. Tabular piping requires 5/psi additional at valve. (7) Tabular backwash flows based on a 20 gpm/sq ft rate, recommended for sand filters without surface washers. A rate of 15 gpm/sq ft for anthrafilt filters, without, or sand filters, with surface washers is normally recommended. Anthrafilt units with surface washers may normally be backwashed successfully at 12 gpm/sq ft. (8) Velocity data based on tabular design rates. Loss data based on tabular rates and normal piping. Lower flows will normally permit decrease in component sizes.

إن علبة الترشيح كما سنرى في الصورة 11- 13 ، مركبة فوق بئر نقية ، توفر المياه للخدمة وللغسل الراجع . وتتركز الأحواض المبنية من الفولاذ أو الكونكريت في الجزء العلوي من المرشح ، وتقوم بعمل مزدوج ، هو توزيع الماء الداخل أثناء الترشيح ، وجمع ماء الهدر أثناء عملية الغسل الراجع . وهناك عند أسفل علبة الترشيح شبكة تصريف سفلية ، تعمل على جمع الماء المترشح أثناء عملية الترشيح ، وتوزع ماء الغسل الراجع أثناء عملية الغسل . وقد تتألف هذه الشبكة ، كما نرى في الصورة 11- 13 ، من شبكة رئيسية للمرور العام ، إما مثقبة، أو يمكن أن تكون من تصميم ذي قاع شكلي ، يزود أيضاً بالمصافي .

الصورة 11 . 13 . مرشحة كونكريت بالثقالة مع ممر عام للمياه وشبكة جانبية للتصريف السفلي .



وسط الترشيح : رمل وحصى :

يمكن أن تكون الطبقات من الأعلى إلى الأسفل ، في مرشحات الرمل والحصى من نموذج الترشيح بالثقالة ، كما يلي :

طبقة 24 إنشاً من الرمل الناعم – الحجم الفعال 0.4–0.5 مم

طبقة 6 إنشاً من الرمل الخشن– الحجم الفعال 0.8 –1.2 مم

طبقة 4 إنشاً من الحصى – $^{3}/_{32}$ – $^{3}/_{16}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من الحصى – $^{1}/_{4}$ – $^{1}/_{2}$ إنشاً

طبقة 5 إنشاً من الحصى – $^{1}/_{2}$ – 1 إنشاً

طبقة 5 إنشاً من الحصى – 1 – $1\,^{1}/_{2}$ إنشاً

وسط الترشيح : أنثرافيلت :

يمكن أن تكون الطبقات من الأعلى إلى الأسفل ، في مرشحات الأنثرافيلت في نموذج الترشيح بالثقالة ، كما يلي :

طبقة 24 إنشاً من الأنثرافيلت – الحجم الفعال 0.55 – 0.65 مم

طبقة 6 إنشاً من الأنثرافيلت – $^{3}/_{32}$ – $^{3}/_{16}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من الأنثرافيلت – $^{3}/_{16}$ – $^{5}/_{16}$ إنشاً

طبقة 4 إنشاً من الأنثرافيلت – $^{5}/_{16}$ – $^{9}/_{16}$ إنشاً

طبقة 5 إنشاً من الأنثرافيلت – $^{9}/_{16}$ – $^{13}/_{16}$ إنشاً

طبقة 5 إنشاً من الأنثرافيلت – $^{3}/_{16}$ – $1\,^{5}/_{8}$ إنشاً

شبكة التصريف السفلية :

هناك في أسفل صندوق الترشيح ، شبكة سفلية للتصريف ، تعمل على جمع الماء المترشح خلال عملية الترشيح ، وتوزع ماء الغسل الراجع أثناء هذه العملية أيضاً . وقد تتألف هذه الشبكة ، كما نرى في الصورة 11 –13 ، من شبكة أنابيب رئيسية جانبية ، ذات جوانب مثقبة أو (وهو الشائع أكثر) جوانب مزودة بمصافٍ ، كالتي وصفناها سابقاً تحت عنوان المرشحات الضغطية ، أو قد

تكون مبنية من قطعة حجرية واحدة ، أو من الكونكريت ، أو ذات أنبوب رئيسي جانبي ، وتزود بمصافٍ من البورسلين ، كما نرى في الصورة 12− 13 .

الصورة 12 . 13 . رأس مصفاة من البورسلين كما تستعمل في شبكات التصريف السفلية المبينة من المونوكريت .



يتراوح الضغط المتيسر في المرشحات الضغطية من 30 إلى أكثر من Psig 60 ، وفي مرشحات الثقالة ، هو فقط الضغط الناتج عن ارتفاع محدد للماء ، ويؤخذ على أنه المسافة الشاقولية من أنبوب الصبيب إلى السطح العلوي للماء الواقع فوق سرير الترشيح . يؤمن هذا عادة من 12− 14 قدماً من العلو ، أو 5− 6 باوند / إنش^2 تقريباً . والمحاولات لزيادة هذا الرقم ، عن طريق استخدام ما يعرف بالعلو السلبي من أسفل صندوق الترشيح إلى مستوى الماء ، من حيث القياس الداخلي للوعاء ، قد يحرر بعض الهواء المنحل في الماء في سرير الترشيح ، ويؤدي إلى ربطه . والتطبيق العملي يكون بدفع الماء بعمق 4 قدماً إلى سطح سرير الترشيح للمساعدة في إنقاص ربط الهواء .

لوحات التشغيل :

بما أن أرضية التشغيل تكون فوق رواق الترشيح ، فإن الصمامات البوابية التي تُشغل هيدرولياً ، وتضبط من لوحة تشغيل ، تستخدم عادة في مرشحات الثقالة وتتموضع هذه اللوحات عموماً في مقدمة وحدات الترشيح ، بحيث تكون هذه الوحدات تحت الرقابة الكاملة للمشغّل . ولوحات التحكم موجودة على شكل نماذج آلية ، وآلية بمفتاح انضغاطي ، ونماذج تشغّل يدوياً . وقديماً كانت تستخدم على نطاق واسع الصمامات البوابية ، التي تركب على حوامل فوق أرضية التشغيل ،أما اليوم ، فالتركيبات ، مع بعض الاستثناءات ، من النموذج الذي يشغل هيدرولياً . وتفضل على نطاق واسع ، تلك الآلية التي تشغّل بمفتاح انضغاطي . فعندما تشير مقاييس الضغط في الوحدة إلى الحاجة إلى الغسل راجع ، يقوم العامل ببساطة بضغط زر ، الذي يبدأ آلياً بإجراء الغسل الراجع ، والترشيح إلى الهدر ، والعودة إلى العمل .

مفاتيح ضبط معدل الجريان :

من الناحية العملية ، تعتبر ضرورية في ضبط معدل الترشيح في وحدات الترشيح بالثقالة . وتعمل إما بصورة مباشرة أو غير مباشرة بواسطة صمام تحكم ، من خلال فرق الضغط في أنبوب فنتوري ، في خط الصبيب لوحدة الترشيح ، وتؤثر فروق الضغط في تشغيل أداة الخنق ، التي قد تكون صماماً مجنحاً ، أو مفصلياً ، أو توازنياً ، أو بوابياً ، والتي يمكن أن تكون أيضاً من نموذج الخنق أو الإغلاق المحكم . ومفاتيح الضبط هذه ، تعمل عادة على ضبط معدل الترشيح ضمن ± 3% .

مفاتيح ضبط معدل جريان الغسل الراجع :

يمكن غسل وحدات الترشيح بالثقالة رجوعياً بواسطة مضخة للغسل الراجع ، تربط إلى بئر نقية ، أو من صهريج تخزين مرتفع . ولذلك ، سوف تؤثر الفروق في مستويات الماء في البئر النقية أو في صهريج التخزين المرتفع بمعدل الغسل الراجع وبناء عليه ، ينصح باستخدام مفاتيح ضبط معدل جريان الغسل الراجع . ورغم أن ضبط معدل جريان الغسل الراجع يحتاج إلى مفتاح منفصل لضبط معدل جريان الترشيح في كل وحدة ترشيح بالثقالة ، فإننا نحتاج إلى مفتاح واحد لضبط معدل الغسل الراجع في مجموعة وحدات الترشيح ، لأن وحدة واحدة فقط تغسل في كل مرة . تعمل هذه المفاتيح وفقاً للمبدأ نفسه الذي تعمل بموجبه مفاتيح ضبط معدل الجريان . ويمكن إدخال التعديلات لمكافأة اللزوجة في الماء ، في مختلف درجات الحرارة ، وللحصول على تمدد متساو في السرير أثناء الغسل الراجع في كل فصول السنة .

مقاييس معدلات الجريان :

قد تكون هذه المقاييس من النموذج المؤشر فقط ، أو المؤشر والمسجل . فهي تبين للمشغّل معدل الترشيح ، بحيث يعرف في جميع الأوقات فيما إذا كانت التعديلات ضرورية أم لا . والنموذج المؤشر و المسجل مهم أيضاً ، لأنه يقدم سجلاً كاملاً عن إنجاز المرشح .

مقايس فقدان الضغط :

هذه المقاييس ضرورية في تشغيل أي وحدة ترشيح ، لأنها تشير إلى نهاية شوط الترشيح . وقد تكون من نموذج المقاييس اللاتفاضلية ، التي تربط فقط إلى خط الصبيب ، على افتراض أن مستوى الماء في المرشح هو دائماً نفسه ، أو من النموذج التفاضلي ، الذي يربط خط الصبيب والماء في أعلى المرشح .

مقاييس عمق البئر النقية :

يستخدم هذا المقياس للدلالة على عمق الماء في بئر نقية . ويربط كهربائياً بإشارات إنذار خفيضة أو عالية المستوى ، أو بأضواء إشارة .

مرشحات الثقالة العديمة الصمامات الآلية :

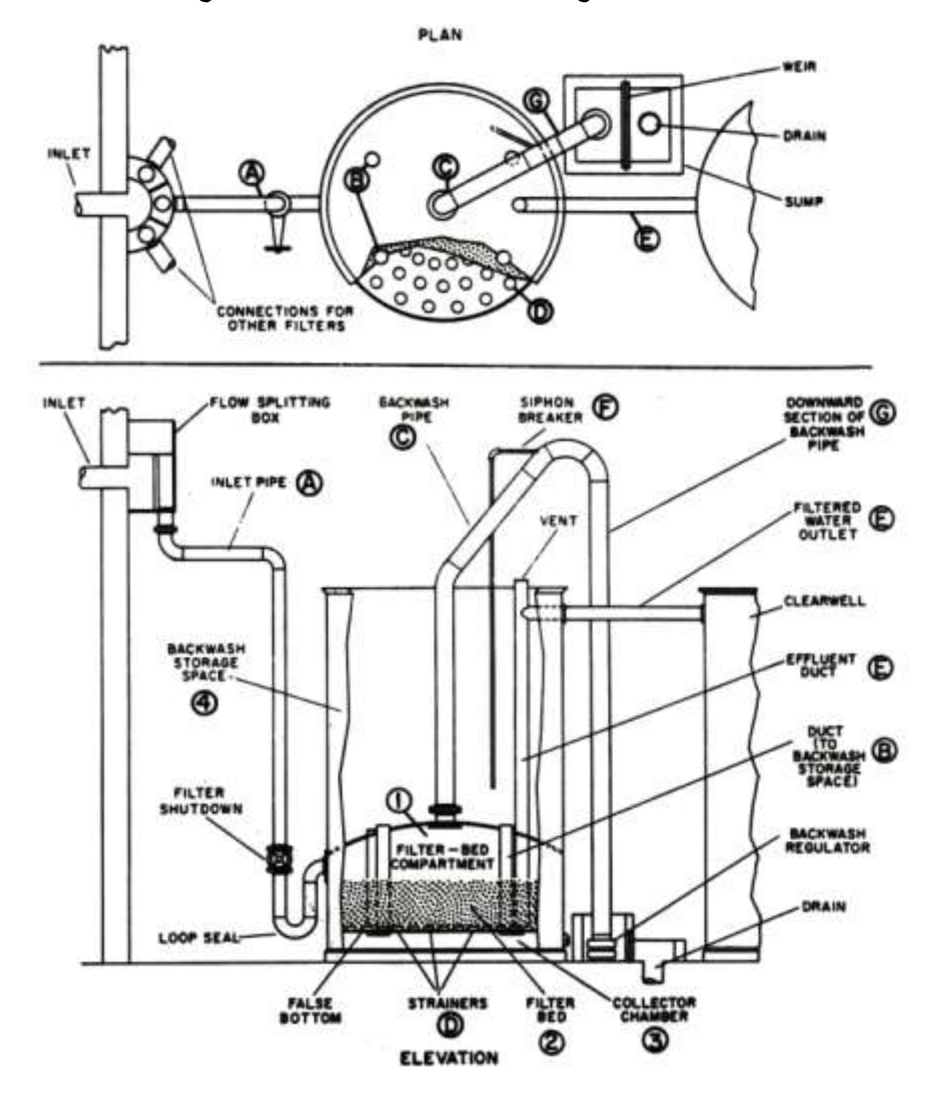
أحدث نموذج من مرشحات الثقالة ، هو نموذج المرشح بالثقالة الذي لا يحتوي على صمامات آلية ، والذي بدأ استعماله منذ سنوات مضت . يدار هذا المرشح الفريد آلياً في كامل حلقة أعمال الترشيح ، من الترشيح حتى العودة إلى الخدمة ، مروراً بالغسل الراجع والشطف ، بدون استخدام صمامات آلية ، أو مقاييس ، أو مؤشرات ، أو مفاتيح تحكم كهربائية . ونرى في الصورة 13-13 رسماً لتصميم صناعي لمرشح يعمل بالثقالة بدون صمامات آلية ، وفي الصورتين 13-14 و13-15 مخططات جريان الترشيح وعمليات الغسل الراجع . وتتألف شبكة التصريف السفلية ، كما نلاحظ في الصورة 13-13 ، من صفيحة المصفاة المزودة بمصافٍ بلاستيكية من النموذج القرصي . وبهذه النمط من التصريف ، الذي يعزز طبقات الرمل الخشنة ، لا تحتاج إلى الحصى المتدرج ، ونستخدم بدلاً منها فقط طبقة من رمل الترشيح الناعم (أو الأنثرافيلت الناعم) . وفيما يلي وصف لكامل العمليات الآلية :

الترشيح :

يدخل الماء المخثر والمروّق من مصدر ثابت المستوى ، كوحدة دثار العكارة (تلامس الجوامد المعلقة) أو من حوض الترويق ، عبر ماسورة الإدخال ، إلى الجزء العلوي من حجرة سرير الترشيح ، ويترشح نزولاً عبر السرير . ماراً من خلال المصافي البلاستيكية إلى حجرة الجمع ، ومن هنا يرتفع الماء المترشح عبر مخرج ، و إلى الخدمة . وأثناء شوط الترشيح ، تكوّن اللبادة المتراكمة على سرير الترشيح ببطء ضغطاً مرتداً ، يسبب ارتفاعاً تدريجياً للماء في أنبوب الغسل الراجع وعندما يصل هذا إلى مستوى محدد سلفاً ، هو عادة 4-5 قدماً فوق

مستوى مخرج المياه المترشحة ، يعمل جهاز تحضير آلي (لا يظهر في هذه الرسوم) بسرعة على تفريغ الهواء من أنبوب الغسل الراجع ، ويبدأ بعملية السيفنة siphoning التي تغسل المرشح رجوعياً .

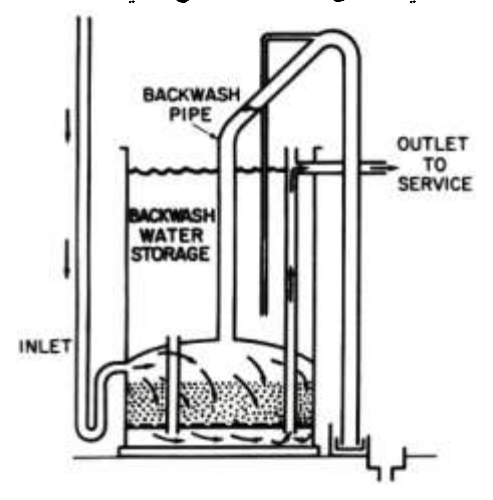
الصورة 13 . 13 . مرشح بالثقالة بدون صمامات آلية . نماذج صناعية .



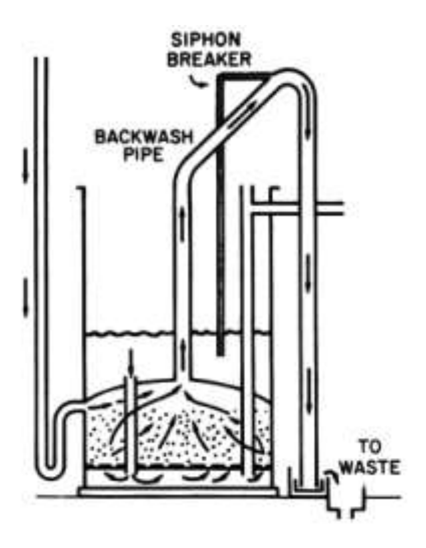
<u>الغسل الراجع :</u>

بما أن أنبوب الغسل الراجع يحمل 21 جالون / د/ قدم^2 من مساحة سرير الترشيح ويجري منها فقط 3 جالون / د /قدم^2 عبر ماسورة الإدخال ، فإن الباقي يسحب من حجرة تخزين الغسل الراجع بواسطة قنوات تؤدي منها إلى حجرة التجميع ومن هناك تصعد عبر سرير الترشيح ، وبهذا تغسله غسلاً راجعاً . ولذلك يبدأ الغسل الراجع عند 18 جالون / د / قدم^2 ، ثم يتناقص إلى 12 جالون / د / قدم^2 عند نهاية فترة الغسل . ينظف الغسل سرير الترشيح ، وينقل اللبادة المتراكمة إلى الهدر بواسطة منظم الغسل الراجع . يساعد هذا النقص الثابت في معدل الغسل الراجع ، إلى حد كبير ، في المراقبة الهيدرولية والاستقرار المنتظم لسرير الترشيح. وعندما يصل مستوى الماء في حجرة تخزين الغسل الراجع إلى قاطعة السيفنة ، تسمح القاطعة بدخول الهواء إلى شبكة إلى شبكة أنابيب الغسل الراجع فتقطع السيفنة وتوقف عملية الغسل الراجع

الصورتان 14 ـ 13 و 15 ـ 13 . مرشح بالثقالة بدون صمامات آلية . نموذج صناعي تبين مخططات الجريان في الأولى عملية الترشيح وفي الثانية عملية الغسل الراجع .

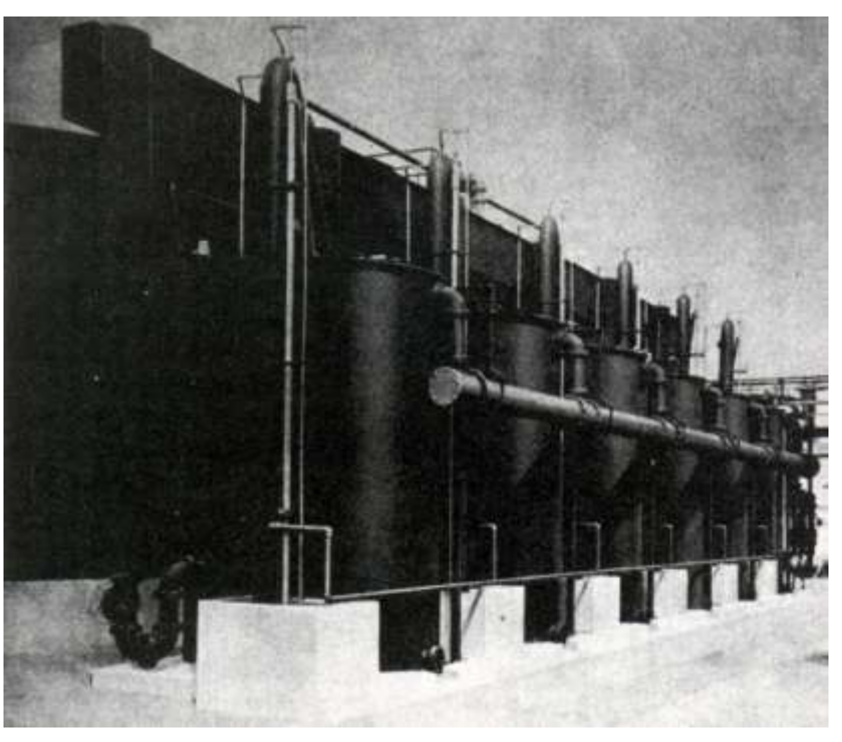


الصورة 14 ـ 13



الصورة 15 . 13

الصورة 16 . 13 . مجموعة مؤلفة من ست وحدات من مرشحات بالثقالة عديمة الصمامات الآلية في مصنع لعجينة الورق في كارولاينا . القدرة 85000 جالون / سا .



الشطف :

عند انتهاء عملية الغسل الراجع ، يترشح الماء الداخل من ماسورة الإدخال عبر سرير الترشيح ، ويشطف بواسطة القنوات من حجرة التجميع ، ويملأ حجرة الغسل الراجع بماء الشطف المترشح من أجل عملية الغسل الراجع التالية . وعندما تمتلئ هذه الحجرة إلى مستوى الماء المترشح ، يتوقف الماء عندئذٍ عن الجريان إلى هذه الحجرة ، ويجري عبر مخرج الماء المترشح ، وبالتالي يعود إلى وحدة الترشيح من أجل الخدمة .

تشغيل المجموعة :

في تشغيل مجموعة من هذه المرشحات الثقالة العديمة الصمامات الآلية ، يصل دفق منتظم من الماء المخثر والمروّق إلى كل وحدة في المجموعة بواسطة علبة تجزئة الدفق ، التي تزود بسدود صغيرة ، بحيث تتلقى كل وحدة من المجموعات الدفق المنظم نفسه من الماء . وبما أن كل وحدة تقوم أيضاً باختزان مياه الغسل الخاصة بها ، فإن عمليات الغسل الراجع لا تحدث هذا الدفق المنتظم إلى كل وحدات المجموعة .

طرق التصفية : Clarification Processes

تنجز عملية التصفية عادة ، كما ذكرنا في بداية هذا الفصل ، بطريقة واحدة ولكن الجمع بين الطريقتين أو أكثر ، كان يستخدم عادة . ويمكن إدراج هذه المجموعات كما يلي :

(1) الترسيب . (2) الترشيح . (3) التخثير + الترشيح .
(4) التخثير + التروبق . (5) التخثير + التروبق + الترشيح .
(6) الترسيب + التخثير + التروبق+ الترشيح . (7) المعالجة بالكلور . (8) مرشحات خاصة .

معالجة المياه للأغراض الصناعية وغيرها

ً1. الترسيب :

قلما يستخدم الترسيب وحده في المنشآت الصناعية لمعالجة المياه ، ربما باستثناء ما يعرف بمصائد الرمل من أجل إزالة الرمل . ولإزالة المستعلقات الغراونية الموجودة في أكثر المياه العكرة ، يحتاج الترسيب البسيط إلى خزن كبير وعميق ، بحيث يتيح فترة طويلة جداً للترسيب . وعلى الرغم من وجود خزانات كبيرة ، طبيعية واصطناعية تتوفر فيها هذه الصفات ، وتسلم نفسها لتصفية مرضية جداً ، فهي غير متوفرة عادة ، ولذلك تستخدم فقط مع المياه الموحلة جداً ، وفي المرحلة الأولى فقط ، قبل التخثير والترويق والترشيح .

ً2 . الترشيح :

بما أن أكثر المادة المعلقة في المياه العكرة ذات حجوم غراونية ، فإنها تميل إلى عبور السرير الحبيبي لمرشح المياه . ولذلك ، وعلى الرغم من وجود استثناءات قليلة ، فإن الترشيح البسيط نادراً ما يكون ذا أهمية في تصفية المياه العكرة . وبدلاً منه ، يسبق عملية الترشيح ، التخثير والترويق .

ً3 . التخثير والترشيح :

يستخدم التخثير على نطاق واسع جداً في المنشآت الصناعية ، لتصفية المياه التي تحتوي فقط على كميات قليلة نسبياً من العكارة . وفي هذه الحالات ، تجري تغذية الخط المؤدي إلى مرشحات بمادة التخثير (إضافة إلى كربونات الصودا إذا لزم الأمر) . وبما أن فترة الإيقاف قصيرة في هذا الخط وفي الجزء العلوي من المرشح فإن الوقت يكون قصيراً بالنسبة لتشكل اللبادة . ولذلك ، تستخدم هذه الطريقة فقط مع المياه التي تحتوي على مقادير بسيطة من العكارة، ويكون سهلاً تخثيرها . ويصعب وضع حد لكمية العكارة التي يتوجب إزالتها بهذه الطريقة ، لأن ذلك يعتمد على طبيعة العكارة ، وكمية مادة التخثير التي نحتاجها

، إلخ ، ولكن عموماً إذا كانت معدلات العكارة تزيد على ppm 20 ، أو إذا كانت إزالة اللون مطلوبة عندئذٍ ينصح بالتخثير والترويق قبل الترشيح .

4ً . التخثير والترويق :

إذا استخدم نموذج الدثار العكر للتخثير ومعدات الترويق ، وإذا كان المطلوب صبيباً نقياً تماماً ، فإن يمكن استخدام التخثير والترويق بدون ترشيح تالٍ . وعموماً ، ستكون إزالة العكارة كافية للحصول على صبيب يبلغ معدل عكارته أقل بكثير من ppm 10 ، ويكون نقياً بما يكفي الكثير من الاستخدامات الصناعية . وحيثما نحتاج لإزالة اللون ، لا يكون التخثير والترويق كافيين ، ويجب القيام بالترشيح أيضاً . انظر الملاحظة تحت عنوان "إزالة اللون والمادة العضوية" في الفصل الرابع .

5ً . التخثير والترويق والترشيح :

يستخدم على نطاق واسع ، الجمع بين التخثير والترويق والترشيح ، ويعطي نتائج مرضية فيما يتعلق بإزالة العكارة واللون . والفوائد الرئيسية ، هي أنه يمكن التحكم بدقة بالتخثير وبتشكل اللبادة ، و أنه يمكن إزالة جزء كبير من المادة الغير ذوابة ، بمعدات الترويق ، وبالتالي يخف الحمل على المرشحات ، وتتطاول أشواط الترشيح ، و أن آثار العكارة أو اللبادة الملونة الفاتحة تزال في مرحلة الترشيح . وحيثما تكون إزالة اللون مهمة ، فإن يجب استخدام الجمع بين العمليات الثلاث .

6ً . الترسيب والتخثير والترويق والترشيح :

هذه الطريقة مماثلة للطريقة السابقة فيما عدا كونها تسبق بالترسيب . وتستخدم عادة مع المياه الموحلة جداً ، والتي تظهر باختيارات الترسيب أن الوفر في تكاليف المعالجة سوف لن يتأثر بإزالة حمل ثقيل من الراسب قبل استخدام التخثير .

7ً . المعالجة بالكلور :

يستخدم على نطاق واسع في منشآت الترشيح بسبب خصائصه التعقيمية . ويمكن استخدامه :

(1) قبل التنقية ، وهي حالة تسمى ما قبل المعالجة بالكلور .

(2) بعد التنقية (بعد المعالجة بالكلور) .

(3) يطبق في بعض الحالات قبل وبعد التنقية .

وشراء الكلور على شكل غاز مسال تحت الضغط في اسطوانات فولاذية ، والتغذية به من أجهزة الكلورة إجراء اقتصادي جداً . وحيثما تكون مقادير الماء المعالج قليلة نسبياً يمكن استخدام الهيبوكلوريت بدلاً منه . ويمكن التغذية بالهيبوكلوريت من أجهزة تغذية خاصة بها ، أو أنها يمكن إضافتها إلى الكلس أو كربونات الصودا والتغذية بهما من أجهزة للتغذية الكيميائية لهذا الغرض .

يتفاعل الكلور مع الأمونيا ، ويشكلان الكلور أمنيات ، أو تمكن إضافته بكميات تكفي لأكسدة الطعم العضوي والمواد المحدثة للرائحة (كلورة نقطة الانكسار) . ويمكن استخدامه أيضاً مع كلوريت الصوديوم لتشكيل عامل شديد هو ثاني أكسيد الكلور . انظر " الكلور" و " ثاني الكلور " و " الأمونيا " في الجدول 1 – 12 ، في الفصل 12 .

8ً . المرشحات الأخرى :

أ . مرشحات الكربون المنشط :

تستخدم مرشحات الكربون المنشط ، على نطاق واسع ، لإزالة الطعوم والروائح من المياه في مصانع تعبئة القوارير ، و الفنادق ، والمطاعم ، والمباني الرسمية ، وفي مختلف الصناعات ، التي تكون مياهها كريهة الرائحة سيئة الطعم . وتستخدم كثيراً أيضاً في التركيبات المنزلية لمعالجة المياه . ويستخدم أيضاً للغرض نفسه مسحوق الكربون المنشط في منشآت المياه البلدية وفي الصناعات

التي تستخدم معدات التخثير ، والترويق ، والترشيح ، وذلك على شكل جرعات معيّرة للمياه في تلك المعدات . والكربون المنشط لا يتغير تقريباً في النموذج الضغطي القائم . ولتفادي التأثير الإلكتروليتي بين الكربون والمعدن ، يتم تبطين الأغلفة الفولاذية ببطانة بلاستيكية مشوية .

تشبه مرشحات الكربون المنشط في بنائها ، المرشحات الرملية العمودية العادية التي تعمل بالضغط . وتحتوي على سرير من مسحوق الكربون المنشط المنخول بعمق 24 – 36 إنشاً ، تعززه طبقات من الحصى المتدرج والرمل الخشن . وفيما يلي مواصفات المناخل:

على شبكة 20	0 – 3 %
من خلال شبكة 20 وعلى 30	40 – 55 %
من خلال شبكة 30 وعلى 40	30 –50 %
من خلال شبكة 40 وعلى 50	5 – 12 %
من خلال شبكة 50	0 – 1 %

وعلى أساس الحجم " في المكان" ، يكون وزن هذا الكربون المنشط حوالي 30 ليبرة / قدم^2 . وتتراوح معدلات الترشيح ، اعتماداً على عمق السرير ، من 4 – 6 جالوناً / د / قدم^2 من مساحة السرير ، وتستخدم معدلات أدنى مع أسرة أخف ، ومعدلات أعلى مع أسرة أثخن . والغسل الراجع الدوري يجب أن يحافظ على السرير بحالة جيدة ، ومعدل الغسل عادة هو 6 جالون / د / قدم^2 من مساحة السرير. وإذا كان تعقيم السرير ضرورياً ، فإن يفضل إجراؤه عن طريق التسخين بالبخار ، لأن التعقيم بالكلور أو بالهيبوكلوريت غير عملي بسبب الخصائص الماصة للسرير .

إن قدرة مرشح الكربون المنشط عالية في إزالة الطعوم والروائح ، وفي ظل ظروف عادية ، يصلح السرير ، على الأقل ، للعمل لمدة سنة واحدة . وتعتبر

ممارسة جيدة ، تفريغ المرشح وتعبئته من جديد ، بعد خدمة لا تقل عن سنة ، ومن سوء التصرف أن نحاول تشغيل مرشح حتى الاستنفاذ الكامل ، لأنه يؤدي إلى معالجة دفعة المياه على نحو سيئ في الخطوط ، إضافة إلى التأخر في الحصول على عبوة جديدة . وقد جربت إعادة تنشيط السرير في مكانه أو خارج المرشح ، ولكن شوط العمل هذا ، يكون عادة أكثر إزعاجاً بكثير مما يستحق .

توجد المواد العضوية ، التي تحدث الطعوم والروائح ، بكميات قليلة عادة . فمثلاً ، يمكن ملاحظة الكلور فينول بنسبة 1 / بليون . إن هذه المواد التي تحمل وزناً جزئياً عالياً ، تمتص بسهولة ، وبالتالي ، تكون حجوم الماء التي يمكن معالجتها كبيرة ، ولكن بما أن كميات وطبيعة هذه المواد ، الموجودة في مورد ما ، قد تتفاوت إلى حد كبير خلال العام ، فإن حساب القدرات النهائية لمرشح الكربون المنشط قلما تستحق الجهد . وقد نلاحظ أيضاً أنه ، في صناعات مثل تعبئة الأشربة المكربنة في زجاجات ، حيث يكون التحكم بالطعوم والروائح مهماً ، يعتبر ضماناً جيداً تمرير كامل المياه عبر مرشحات الكربون المنشط ، حتى عند ما تكون المياه خالية من الطعوم أو الروائح غير المرغوبة ، إلا على مدى بضعة أيام من السنة .

ملاحظة : عند استخدام مسحوق الكربون المنشط في معدات التخثير ، والترويق والترشيح ، تنظم الجرعات وفقاً لتنوع احتياجات المياه ، كما يحددها الاختبار الدوري .

يتمتع الكربون المنشط أيضاً ببعض خصائص إزالة الألوان ، لكن مرشحاته قلما تستخدم لهذا الغرض ، لأن مادة التلوين العضوية تختلف كثيراً في طبيعتها ومقاديرها (انظر الفصل الرابع) إلى حد تكون معه النتائج والقدرات غير مؤكدة . ولذلك ، يقتصر استخدام مرشحات الكربون عادة على إزالة الطعوم والروائح .

ب . مرشحات المنغنيز زيوليت :

تستخدم هذه المرشحات في وحدات صناعية ومنزلية لإزالة حتى 1 ppm من الحديد والمنغنيز من المياه ، التي تحتوي على بيكربونات ذوابة ثنائية التكافؤ من كل من هذين المعدنين وقد أتينا على وصف مرشحات المنغنيز زيوليت في الفصل 12

ج . مرشحات التعادل :

تستخدم هذه المرشحات على نطاق واسع جداً لمعادلة ثاني أكسيد الكربون ، ورفع قيمة الـ pH إلى 7.2–7.3 آلياً . وربما يكون استخدامها الواسع في الاستخدام المنزلي ، وفي معالجة المياه الدوارة في المسابح ، وتستخدم كثيراً أيضاً في معالجة المياه الصناعية ، حيث تكون المياه أكالة ، ولا تكون الكميات المعالجة كبيرة جداً .

تشبه مرشحة التعادل في تركيبها مرشحة الرمل الضغطية العمودية ، لكن سريرها يتألف من مسحوق الكلسيت ($CaCO_3$) تعززه طبقات من الحصى المتدرج . عندما يمر الماء الذي يحمل pH أقل من 7 ، لأن معدله من قلوية برتقالي المثيل لتحرير ثاني أكسيد الكربون يكون أقل من 5 – 1 ، عبر مرشحة التعادل ، تنحّل كمية كافية من الكلسيت ، وتتشكل بيكربونات الكلسيوم ، لرفع قيمة pH إلى 7.2 أو 7.3 ، التي يتوقف عندها التفاعل . وفيما يلي هذا التفاعل :

$$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

إن زيادة عسرة الماء الذي يحمل pH منخفضة للحصول على قيمة للـ pH تصل إلى 7.2 تقريباً

(انظر الصورة 2 – 3 من أجل تأثير مختلف نسب ثاني أكسيد الكربون الطليق إلى قلوية برتقالية المثيل على قيم pH) ، يمكن أن تحسب كما يلي :

لتكن H = زيادة في عسرة في 1 ppm كـ $CaCO_3$

CO_2 = ثاني أكسيد الكربون في الماء الخام كـ 1 ppm من CO_2

M.O.Alk= قلوية برتقالية المثيل في الماء الخام كـ 1 ppm من $CaCO_3$

$$H = \frac{(CO_2 \times 9) - M.O.ALK}{4.96}$$

عندئذٍ : يبين المثال التالي استخدام هذه الصيغة في حساب زيادة في العسرة ، ومن النتائج ، كيف تحسب كمية ثاني أكسيد الكربون المتعادل ، وكمية الكلسيت المستخدمة في كل ألف جالوناً من الماء .

المثال : $CO_2 = 30$

M.O.Alk = 30

قيمة الـ pH مع هذا المعدل = $\frac{M.O.ALK}{CO_2} = \frac{30}{30} = \frac{1}{1}$ تكون 6.3

عندئذٍ : $H = \frac{(30 \times 9) - 30}{4.96} = 48$

ولذلك تكون الزيادة في عسرة البيكربونات (القلوية) 48 ppm ، بحيث تكون قلوية الصبيب 30+48 = 78 ppm .

كل 1 ppm من الكلسيت المنحل عادل 0.44 ppm من ثاني أكسيد الكربون . ولذلك ، 48×0.44= 21 ppm من CO_2 المزال ، بحيث يكون محتوى الصبيب 30−21= 9 ppm (pH الصبيب ، وفقاً لمعدل :

$\frac{8.7}{1} = \frac{78}{9} = \frac{M.O.ALK}{CO2}$ وهو يكافئ 7.2)

وتكون كمية الكلسيت المنحل 48 ppm ، والتي تكافئ $^{48}/_{120}$ = 0.4 ليبرة / 1000جالوناً من الماء المعالج . عند ما يبلغ وزن الكلسيت المستخدم حوالي 1000 ليبرة / قدم^3 ، يجب استخدام 250000 جالوناً من هذا الماء حتى 1 قدم^3 من الكلسيت عن طريق حله . ومن الواضح أن كمية الكلسيت اللازمة ، بسبب خسارات التلف والغسل الراجع لدقيق الخامات المعدنية ، يجب أن تكون أكبر من الرقم النظري .

يفيد مرشح التعادل في :

(1) يرفع آلياً قيمة الـ pH إلى 7.2 أو 7.3 .

(2) أنه يخفف التآكل .

(3) أنه يشتغل تحت الضغط .

(4) يحتاج إلى قدر أقل من الانتباه .

أما مساوئه فهي أنه يرفع عسرة الماء ، بحيث تزداد كلفة التيسير في المنشآت الكبيرة التي تستخدم التيسير . إن معدلات الجريان والغسل الراجع في مرشحات التعادل كمثيلاتها في مرشحات الضغطية ، أي 3 جالون / د/ قدم^2 من مساحة السرير في الترشيح ، و 10 جالون /د / قدم^2 من مساحة السرير الراجع

د – مرشحات إزالة الزيت :

تستخدم هذه المرشحات لإزالة الزيت من ناتج التكثيف من المحركات أو المضخات الترددي . وقد أتينا على وصفها في الفصل 8

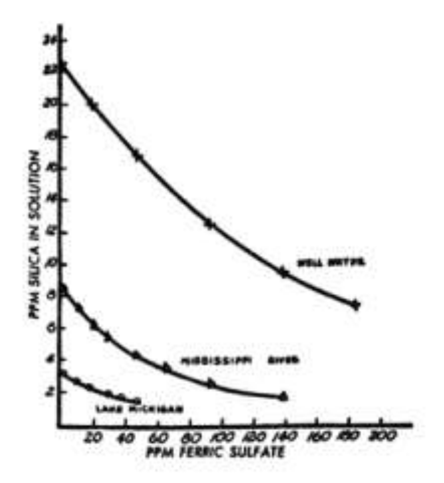
طريقة هيدروكسيد الحديد لإزالة السيلكا :

تستخدم عادة كبريتات الحديد في إزالة السيلكا بواسطة هيدروكسيد الحديد بالاشتراك مع الكلس بقيمة مثالية للـ pH تصل إلى 9 تقريباً ، لتشكيل هيدروكسيد الحديد ويجري التفاعل كما يلي :

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH_3)_3 + 3\,CaSO_4$$

تعتمد الجرعة اللازمة على محتوى الماء الخام من السيلكا ، وعلى المدى الذي يخفف إليه ، ولكن عموماً ، يكون عالياً تقريباً ، من حوالي 8 إلى ما يزيد ppm 20 من كبريتات الحديد لكل ppm 1 من السيلكا المزالة ، كما نرى في الصورة 17– 13 التالية ك

الصورة 17 – 13 مخطط إزالة السليكا بكبريتات الحديد



زيادة على ذلك يزداد محتوى الكبريتات في الماء المعالج ، بحيث يحمل الماء ، عند تيسيره بطريقة الترسيب ، محتوى أعلى من إجمالي الجوامد . وبما أن الكبريتات تظهر على شكل كبريتات صوديوم في الماء الميسر ، فإن كل 1 ppm من السيلكا المزالة ، يجب أن يضيف حوالي 8.5 إلى أكثر من 21 ppm من كبريتات الصوديوم . لذلك يمكن لخفض محتوى السيلكا بمقدار 10 ppm ، أن يزيد من إجمالي الجوامد في الماء الميسر بحوالي 80 إلى أكثر من 200 ppm .

كانت طريقة هيدروكسيد الحديد إحدى أول الطرق لإزالة السيلكا من الماء ، ولكنها استبدلت على نطاق واسع بالطرق الأحدث والأكثر فعالية ، أي :

(1) باستخدام مبادلات الأنيونات القاعدية العالية .

(2) طرق تيسير الماء بالكلس البارد صودا مغنسيا .

(3) طرق تيسير الماء بالكلس الحار الساخن صودا مغنسيا .

وقد أتينا على وصف طرق إزالة السيلكا في الفصل 17 و 18 و19 على التوالي . ومن الواضح ، أنه عندما يخثر الماء العكر بمخثر الحديد ، يمكن الحصول على نقص خفيف في محتوى السيلكا ، ويكون لهذا النقص الأهمية في

المرحلة التمهيدية . ويمكن أن نضيف أيضاً ، انه على خلاف تأثير المغنسيا في إزالة السيلكا ، فإن فعالية هيدروكسيد الحديد تنقص مع ارتفاع درجات الحرارة .

الفصل الرابع عشر

إزالة
الحديد والمنغنيز

Iron - And Manganese
Removal

إزالة الحديد والمنغنيز
Iron - And Manganese Removal

الحديد مقوم غير مرغوب فيه في كثير من المياه العسرة . والتفاوتات المسموحة منه ، في الاستخدام البلدي أو المنزلي ، يجب أن لا تتجاوز 0.3 ppm ، وبالنسبة

لمعظم الاستخدامات الصناعية ، يجب أن لا تتجاوز 0.1 ppm . والحديد في الموارد الطبيعية للماء يمكن أن يوجد في شكل واحد أو أكثر من الأشكال التالية:

(1) بيكربونات الحديد . (2) هيدروكسيد الحديد .

(3) كبريتات الحديد . (4) أو حديد عضوي (مستخلب) .

وعند معالجة المياه الحاملة للحديد بالكلس أو بمادة قلوية ، بدون تهوية ، أو بدون استخدام عوامل أكسدة أخرى ، فقد توجد كميات الحديد غير المرغوبة في صبيب المرشح على شكل :

(5) كربونات الحديد ، أو (6) هيدروكسيد الحديد .

أولاً. إزالة بيكربونات الحديد

Removal of Ferrous Bicarbonate

بيكربونات الحديد ، هي أشيع شكل يوجد فيه الحديد في الموارد المائية بكميات مزعجة . وهي ملح ذوّاب ، لا لون له يكون فقط على شكل محلول . تزداد ذوبانية بيكربونات الحديد ، مع ازدياد المحتوى من ثاني أكسيد الكربون الطليق في الماء ، وتزيد ذوبانيتها في الماء البارد المشبع بثاني أكسيد الكربون عن 150 ppm (8,8/غ/جالون) ، معبراً عنها كحديد . ومع أن هذا الحديد هو بيكربونات الحديد ، وهي أكثر مما نجده في أي مورد مائي من الآبار ، فقد لاحظنا في الجدول 2.11 (في الفصل الثاني) ، أن مياه بئر واحدة تحتوي على كمية من بيكربونات الحديد مكافئة لـ 50PPM (3غ/جالون) من Fe وقليلاً لحسن الحظ من المياه قد تحتوي على كميات من بيكربونات الحديد ، تزيد إلى حد ما عن هذا الرقم . مع ذلك تحتوي المياه الحاملة للحديد ، في أغلبيتها العظمى ، على أقل من 5ppm من بيكربونات الحديد ، معبراً عنها كحديد . وبيكربونات الحديد أيضاً ، هي أشيع شكل يحدث فيه التقاط الحديد في عمليته (التقاط الحديد) من شبكة الحديد .

في البداية عند سحب الماء غير المهوّى ، الذي يحتوي على بيكربونات الحديد ، كما في سحبه من بئر عميقة ، يكون الماء صافياً عديم اللون . وبعد تهويته بوقت قصير ، كما في سحبه من صنبور إلى كوب زجاجي يُظهر اغبرارا طفيفاً مبيضّاً ، يتحول مع التركيد الطويل إلى اغبرار مصفرّ ، ثم يشكل رواسب مصفرّة إلى بنية محمّرة من أكسيد الحديد المميأ ، و تلتصق بعض من هذه الرواسب على جوانب الكوب الزجاجي ، ويغوص الباقي إلى القاع . ولهذا السبب ، تتسبب المياه التي تحتوي على بيكربونات الحديد ، بتلوين كل شيء يتماس معها بلون مصفر إلى بني مصفر ، وهي لا تترسب عادة بشكل منتظم ، بل تشكل بقعاً وخطوطاً . وفي صناعات كالقطن والصوف والحرير والمنسوجات الأخرى لا يمكن معالجة هذه المواد بمياه من هذا النوع ، بينما يستحيل ذلك في صناعة الرايون ، فالصبغ يكون غير منتظم المنظر ، وصناعة العجينة والورق مستحيلة ، باستثناء النواتج المنخفضة الدرجة . وباختصار قلما توجد معالجات صناعية سائلة يمكن إجراؤها بنجاح في المياه ، التي تحتوي على بيكربونات الحديد . ففي الفنادق والمستشفيات ، والنوادي والمباني الرسمية ، والمنازل ، تسبب المياه الحاملة للحديد في تلوين أحواض الغسل، والمراحيض ، والمباول ، وأحواض الاستحمام والمرشات ، والأرضيات والجدران الآجرية ، وتحقق ربحاً لمصنّعي مزيلات الصدأ من غسل الملابس . وتحول هذه المياه أيضاً الشاي إلى اللون الأسود حيث يتحد حمض العفص مع حديد الماء لإعداد الحبرالأسود، كما أن المياه الحاملة للحديد تجعل القهوة طينية المظهر سيئة المذاق . وطعم الماء بالذات يكون قابضاً ، ويكون أيضاً ملحوظاً جداً إذا زادت كمية الحديد عن 1ppm إضافة إلى هذه الصعوبات ، تنمو بكتريا الحديد ، التي تشيع تسميتها بالـ (كرينوذيكس) في المياه التي تحمل الحديد ، وتشكل نماءات سادّة بنية إلى محمرّة ، تخفف معدلات الجريان بصورة خطيرة . وكثيراً ما تتفكك هذه البكتريا في كتل كبيرة ، تسد المنافث والمقاييس وشبكات الدوران والمضخات الخ ، والكتل المنحلة ، تسبب غالباً طعوماً وروائح سيئة

في الماء وعلى خلاف الطحالب ، يمكن لبكتريا الحديد أن تنمو في الظلام ، ويمكنها أيضاً أن تتحمل الضوء ، وقد توجد في الينابيع والآبار والمياه السطحية الراكدة والخزانات إضافة إلى خطوط الأنابيب . وهي حيهوائية ، وتحتاج في نموها إلى الأكسجين المنحل ومع أنها تنمو في الزرع على المادة العضوية بدون الحديد ، فإنها تزدهر فيما يبدو بشكل أفضل في موارد المياه الطبيعية التي تحتوي على الحديد ، وتختفي عند إزالته . ولذلك يلعب الحديد ، فيما يبدو ، دوراً مهماً في وجودها .

ملاحظة :

مع أن عبارة (كرينوذركس) تستخدم على نحو شائع بالمعني الجمعي ، لكي تشمل كل بكتريا الحديد والمنغنيز تقرن أحياناً باسم المعدن ، كأن نقول كرينوذركس الحديد أو (كرينوذركس المنغنيز) ، فإن الكرينوذركس ، إذا أردنا الدقة هي واحدة فقط من بكتريا الحديد .

كان يظن أن بكتيريا الحديد تستمد طاقتها من تأكسد بيكربونات الحديد الذوابة إلى هيدروكسيد الحديد اللاذواب . ولكن اكتشف أن نموها ممكن في وسط المزرعة العضوية الخالية من الحديد ، علاوة على ذلك يمكن للنوع نفسه من البكتريا أن ينمو أيضاً في المياه الحاملة للمنغنيز ، وأنها تستعمل كما يبدو هذا المعدن بالطريقة نفسها التي تستعمل فيها الحديد ، وعلى أية حال تنمو بكتريا الحديد في المياه التي تحمل الحديد ، فتزيله من المحلول وتجعل هيدروكسيد الحديد اللاذواب يترسب فوقها ، وتصل كمية هيدروكسيد الحديد المترسبة على هذا النحو إلى حوالي 500 مرة ضعف خلايا البكتريا .

ملاحظة : يستثنى من ذلك أن الغاليونيلا Gallionella تنمو بقوة فقط في المياه الحاملة للحديد .

يمكن إزالة بيكربونات الحديد الذوابة من الماء بإحدى الطرق التالية :

(1) معالجات التهوية والترويق والترشيح .

(2) معالجة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) .

(3) المعالجة بتبادل كاتيونات الهيدروجين .

(4) المعالجة لتيسير الماء بالكلس صودا .

(5) المعالجة بالكلس وبتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

(6) المعالجة بالزيوليت منغنيز .

ً1. إزالة الحديد بالتهوية ، والترويق ، والترشيح :

يمكن إزالة الحديد من المياه التي تحتوي على بيكربونات الحديد عن طريق أكسدة وترسيب الحديد على شكل هيدروكسيد الحديد والترويق ، والترشيح . والأكسدة الضرورية لأن ذوبانيات هيدروكسيد وكربونات الحديد (حتى في غياب CO_2 الطليق) تكون كبيرة حيث تصل إلى 204ppm

($^1/_4$غ / جالون) بالنسبة لهيدروكسيد الحديد ، و 31ppm (حوالي 31 غ/جالون) بالنسبة لكربونات الحديد ، معبراً عن كليهما كحديد ، ومقارنة بالحديد ، تهمل ذوبانية هيدروكسيد الحديد ، لكونها أقل بكثير من 0.01ppm (ذوبانية الناتج متغيرة وتكون من 1×10^{-36} إلى 4×10^{-38}) تنجز أكسدة بيكربونات الحديد عادة بواسطة الأكسجين المنحل ، الذي يدخل إلى الماء بالتهوية حسب التفاعل التالي :

$$2Fe(HCO_3)_2 + 1/_2\ O_2 + H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

لذلك ومن الناحية النظرية يؤكسد 1ppm من الأكسجين المنحل 7ppm من حديد الحديد ، معبراً عنه كـ Fe وكما نرى في الجدول 8 . 3 في الفصل الثالث ، فإن ذوبانية أكسجين الهواء المنحل في الماء هي 7.04مل/ل بدرجة 59 فهرنهايت ، والتي تكافئ 10ppm لذلك ومن الناحية النظرية يحتوي الماء المشبع بالهواء المنحل بدرجة 60 فهرنهايت على أكسجين يكفي لأكسدة حوالي 70ppm من حديد الحديد . تكون هذه الأكسدة بطيئة عند قيم الـPH المنخفضة ، وسريعة عند قيم الـ PH العالية . ولأغراض عملية يجب أن تكون أكسدة الحديد بكامله سريعة بشكل تحدث فيه فترة أقل بشكل محسوس من فترة الإيقاف الظاهرية التي يتيحها حجم ونموذج المعدات المستخدمة .

خطط الجدول 1. 14 بالاعتماد على النتائج المتحصلة من تهوية مياه بئر ، عند مختلف القيم للـPH ، تحتوي علىppm 10من بيكربونات الحديد ، معبراً عنها كحديد ، والسماح بفترات إيقاف مؤلفة من 15 و30و60 دقيقة ، ثم ترشيحها من خلال مرشح ورقي يمكن اعتبار النتائج المسجلة (0.1ppm من الحديد) من الناحية العملية إزالة كاملة للحديد . ويعتبر مرضياً خفض الحديد إلى 0.1ppm تقريباً لكافة الأغراض الصناعية. ويبين هذا الجدول بوضوح تام ، تأثير قيم للـPH على أكسدة بيكربونات الحديد فمثلاً أزيل فقط $1/_{10}$ من الـ 1ppm من محتوى الحديد باستخدام فترة إيقاف من 15دقيقة ، وعند قيمة 5 للـPH . بينما حدثت عملياً إزالة كاملة للحديد عند قيمة 7 فما فوق للـPH ويبين أيضاً أن الاحتفاظ بقيمة PH فوق 7.5سيهيء عاملاً جيداً للأمان في إزالة الحديد بالتهوية والترويق والترشيح .

الجدول 1 . 14 الحديد: تأثير الـ PH على أكسدة حديد الحديد بواسطة الهواء المنحل

مياه خام		الحديد في المياه المهوّاة		
(PH)	حديد (1ppm)	(15 دقيقة)	(30 دقيقة)	(60 دقيقة)
5	10	9	–	7.5
5.5	10	5.5	4.6	4
5.95	10	5	4	3.5
6.15	10	4.4	3.5	2.5
6.5	10	2.8	1.8	0.3
6.65	10	0.7	0.2	0.1
6.8	10	0,2	0.1	0.1 >
7	10	0.1	0.1>	0.1>
7.45	10	0.1	0.1>	0.1>
8.5	10	0.1>	0.1>	0.1>

الجدول 2. 14 الحديد : هيدروكسيد الحديد النقي ، 1غ/ل مع التحريك المستمر ، لا تظهر تأثيراً حفازاً على أكسدة حديد الحديد بواسطة الهواء المنحل .

ماء + $Fe (OH)_3$		حديد في ماء مهوّى ومرشح (ppm1)		
(PH)	الحديد	(15دقيقة)	(30 دقيقة)	(60 دقيقة)
5	10ppm	–	–	7.5

يفترض عادة أن هيدروكسيد الحديد المترسب سابقاً يمارس تأثيراً حفازاً في أكسدة محتوى بيكربونات الحديد في الماء المهوّى ، ولكن هذا موضع شك ، ومن المحتمل أن يكون التأثير الحفاز ، عند وجوده ، ناتجاً عن مقادير قليلة من المنغنيز وفي التطبيق العملي يزال الحديد ، كما يبدو بسهولة أكبر من الماء الذي يحتوي على 3ppm أو أكثر من الحديد من المياه التي تحتوي على 1ppm ولكن هذا:

قد ينجم ببساطة عن تأثير التخثير لمحتوى الحديد العالي ، الذي يشكل لبادة أكبر وتستقر بسهولة أكبر تبين المعلومات المدرجة في الجدول 2ـ 14بأن اغ من هيدروكسيد الحديد في الليتر عند قيمة 0.5 للـPH والتحريك الجيد ، لا يمارس تأثير حفازاً على أكسدة حديد الحديد بواسطة الهواء المنحل ، لأنه أمكن الحصول على النتيجة نفسها عند القيمة ذاتها للـPH في القيمة الأولى المدرجة في الجدول 1ـ 14 عند عدم وجود زيادة من هيدروكسيد الحديد ، وعدم ممارسة التحريك .

معدات التهوية :

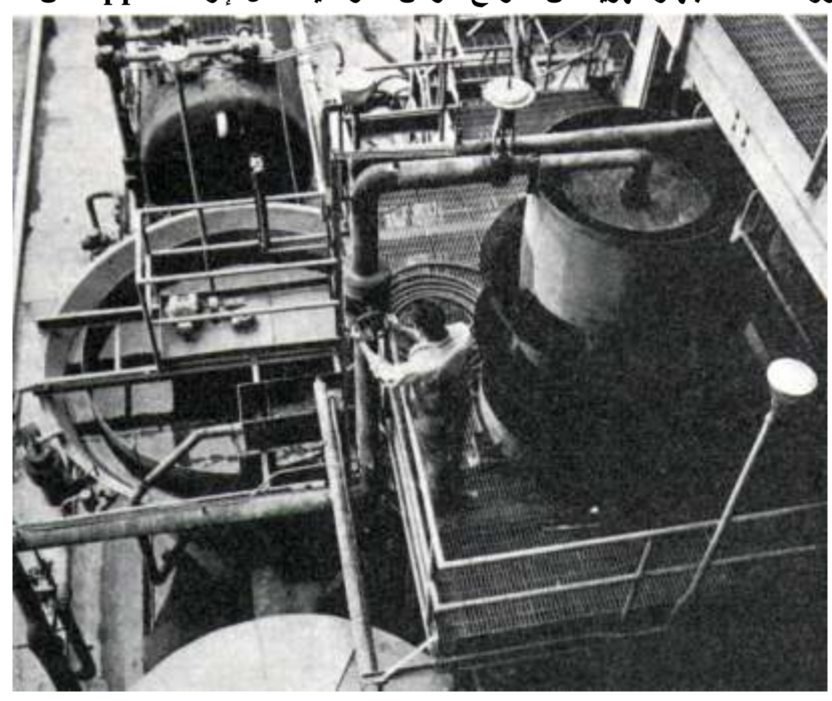
إن نموذج معدات التهوية المستخدمة على نطاق واسع في إزالة الحديد هو جهاز التهوية من نموذج من حوض الكوك ، كما وصفنا في الفصل العاشر . واستخدم على نطاق أضيق جهاز تهوية من الألواح الخشبية . وتستخدم أحياناً لهذا الغرض أجهزة تهوية ذات جانب واحد متحرك لتنظيف نماءات الـ (كرينوذركس) . وتستخدم أيضاً أجهزة تهوية ضغطية ، ولكن نظراً لأنها لا تخفف من محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق من الماء ، فإنها تستخدم فقط في حالات خاصة . تفيد أجهزة التهوية المكشوفة طبعاً في تخفيف محتوى الماء من ثاني أكسيد الكربون الطليق ، الذي يرفع قيمة الـPH فيه في الوقت نفسه . وفي المياه التي تحتوي على كميات ملحوظة

من قلوية البيكربونات ترفع قيمة الـPH بصورة كافية بحيث لا نحتاج إلى إضافة الكلس أو مادة قلوية . فمثلاً إذا كان محتوى الماء من قلوية البيكربونات 50 ppm أو أكثر ، فإن تخفيف محتواه من ثاني أكسيد الكربون إلى 10 ppm أو أقل ، سوف يرفع قيمة الـPH إلى أكثر من 7 وعند الحاجة إلى إضافة الكلس أو أي مادة قلوية فإنها يجب إضافتها إلى الماء المهوّى في الحوض .

يركب جهاز التهوية عادة فوق حوض توقيف ، أو قد يركب فوق صهريج ترويق . وتختلف هذه الأحواض أو الصهاريج ، إلى حد كبير ، في حجمها ، وقد تتراوح فترات الإيقاف من 15 دقيقة إلى ساعتين ، أو أكثر .



الصورة 1 . 14 جهاز تهوية من نموذج حوض الكوك يستعمل لإزالة 5 ppm من الحديد



وبالنسبة لأكثر المياه الحاملة للحديد ، يفضل استخدام أحواض تتيح فترة توقيف لا تقل عن 30 دقيقة ، مع أنه كثيراً ما تستخدم أحواض أصغر للمياه التي تحتوي على كميات أقل من الحديد وقيمة الـPH فيها عالية بما يكفي لتسريع الأكسدة . ومن أجل

استمرار العمل تستخدم مجموعة من وحدات الترشيح بحيث تتحمل وحدة أخرى من الوحدات عبء العمل كاملاً ، عندما تغسل إحدى الوحدات غسلاً راجعاً . وعندما تستخدم مرشحات الثقالة بدلاً من مرشحات الضغط ، يرفع جهاز التهوية وحوض الإيقاف للحصول على جريان الثقالة إلى المرشحات ، وتركب المرشحات عموماً فوق بئر نظيفة .

التهوية الضغطية :

تقتصر التهوية بالضغط عادة على منشآت معالجة المياه التي يكون محتواها من الحديد وثاني أكسيد الكربون منخفضاً ، وحيث يكون مرغوباً معالجة المياه تحت الضغط وتفادي الضخ المضاعف . وفي هذه المعالجة يشبع جزء واحد من الماء فقط بالهواء تحت الضغط ثم يمزج هذا الجزء مع بقية المياه قبل الترشيح . ويمكن عند الحاجة تغذية المياه بمادة قلوية قبل وصولها إلى جهاز التهوية (انظر الصورة 4 . 10 ونص التوضيح للنموذج الضغطي من أجهزة التهوية في الفصل 10) .

أكسدة الحديد بالكلور:

بدلاً من استخدام الأكسجين المنحل لأكسدة محتوى الماء من حديد الحديد ، يمكن استخدام الكلور كعامل مؤكسد ويمكن كتابة التفاعل كما يلي:

$$2Fe(HCO_3)_2 + Cl_2 + \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\}(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\}Cl_2 + 6CO_2$$

مع أن 1ppm من الأكسجين سيؤكسد ppm 7 يتضح من التفاعل أعلاه أن 1ppm من الكلور سوف يؤكسد فقط حوالي 1.6 ppm من حديد الحديد ، معبراً عنه بـ Fe في كلتا الحالتين ولكن يمكن مع الكلور أكسدة الحديد بسرعة عند قيمة PH أقل منها مع الأكسجين المنحل . يظهر هذا في الجدول 3ـ 14 ، الذي يقوم نتائج تجريبية

لإزالة الحديد من ماء يحمل ppm 10 من الحديد ، عن طريق الأكسدة بالكلور عند قيم PH تتراوح من 4 .5 . وسنلاحظ أن الحديد قد تأكسد بصورة تامة مع الكلور في أقل من 15 دقيقة عند قيمة 5 للـPH ، بينما لزم أن تكون 7مع الهواء . ولكن ، كما هي الحال مع المياه القلوية بصورة طبيعية ، فإن انخفاض الـPH يعزى إلى التناسب العالي لثاني أكسيد الكربون إلى القلوية ، والماء المنخفضة الـPH يجب أن تهوى عادة إلى أدنى محتوى من ثاني أكسيد الكربون ، وهذا يرفع قيمة الـPH سواء كان الماء سيعالج فيما بعد بالكلور أم لا .

الجدول 3 . 14 الحديد : يظهر أن الكلور يؤكسد الحديد عند PH أقل مما تكون عليه مع الهواء المنحل .

مياه خام		الحديد في المياه المعالجة والمرشحة (ppm)		
(PH)	حديد(ppm)	(15د)	(30د)	(60د)
4	10	–	–	0.8
4.55	10	–	–	0.5
5.0	10	0.1>	0.1>	0.1>

2 ـً إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم :

يمكن إزالة الحديد من مياه الآبار العميقة الشفافة التي تحتوي على بيكربونات الحديد ، في وقت واحد ، مع العسرة بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم .

ويمكن أن تكون المبادلات المستخدمة من:

(1) النموذج الراتيني العالي القدرة .

(2) النموذج الكربوني .

(3) نموذج الرمل الخضراوي .

والتفاعلات المشتركة في إزالة الحديد أثناء شوط التيسير وفي التجديد بالملح عند نهاية الشوط ، مع استخدام رمز R لتمثيل الجذر المركب لمبادل الكاتيونات يمكن أن تكتب كما يلي :

أولاً : أثناء شوط التيسير:

$$Fe(HCO_3)_2+2NaR \rightarrow FeR_2+2NaHCO_2$$

ثانياً : أثناء التجديد بالملح يزال على شكل كلور الحديد :

$$FeR_2+2NaCl \rightarrow 2NaR+FeCl_2$$

ملاحظة :

بما أن الحديد يزال مع العسرة وبالطريقة ذاتها ، فيجب أن نضع هذا في اعتبارنا عند حساب قدرات تيسير الماء . فالعامل من أجل تحويل بيكربونات الحديد ، معبراً عنها كـ Fe ، إلى العسرة معبراً عنه كـ $CaCO_3$ ، هو 1.8 .

ومع النموذج الراتيني ذي القدرة العالية من مبادل الكاتيونات تعتبر ممارسة عادية حصر استعمال هذه المعالجة بالمياه التي تحتوي على مالا يزيد عن 0.5ppm من الحديد ، على شكل Fe لكل 1 ppm من العسرة الموجودة بحد أقصى مقداره 50 ppm من الحديد . ومع النماذج الأقدم الرملية الخضراوية والكربونية ، من مبادلات الكاتيونات ، كانت الحدود العادية فقط 0.5 ppm من الحديد لكل 17 ppm (1غ/جالون) من العسرة الموجودة بحد أقصى مقداره 10ppm من الحديد والضمانات لمحتوى الحديد في الصبيب في النموذج الراتيني ذي القدرة العالية لمبادلات الكاتيونات تكون عادة إما 0.1 ppm من الحديد ، أو 1 % من محتوى الماء الخام من الحديد أيهما كان أكبر .

وفي إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، يجب أن لا يسمح للماء أن يتماسّ مع الهواء قبل عبوره وحدات تيسير الماء ، لأن تماساً من هذا النوع سوف يتسبب في ترسيب هيدروكسيد الحديد فوق وفي سرير مبادل الكاتيونات . ولهذا السبب ينبغي ترشيح الماء قبل وصوله إلى وحدات الترشيح ، إذا كان الماء الحامل للحديد ليس شفافاً وخالياً من هيدروكسيد الحديد المعلق .

3ً . إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين :

يمكن إزالة حديد الحديد سواء كان موجوداً على شكل بيكربونات أو كلور أو كبريتات بطريقة مبادلة كاتيونات الهيدروجين . وتجري إزالة الحديد بهذه الطريقة عادة في وقت واحد مع إزالة الكلسيوم والمغنزيوم ، والصوديوم . ويمكن كتابة التفاعل مع بيكربونات الحديد كما يلي :

$$Fe(HCO_3)_2 + 2HR \rightarrow FeR_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

ويمكن عندئذٍ تجديد مبادل الكاتيونات المستهلك بحمض الكبريت ، الذي يُعيد الهيدروجين إلى المبادل ويطلق الكلسيوم ، والمغنزيوم ، و الصوديوم ، وحديد الحديدي ، على شكل كبريتات ذوابة . وبعدئذٍ تشطف هذه الكبريتات إضافة إلى زيادة الحمض إلى الهدر ، وبعد هذا يعاد المبادل إلى العمل . ويمكن كتابة تفاعل مبادل كاتيونات الحديد مع المادة المجددة التي هي حمض الكبريت كما يلي :

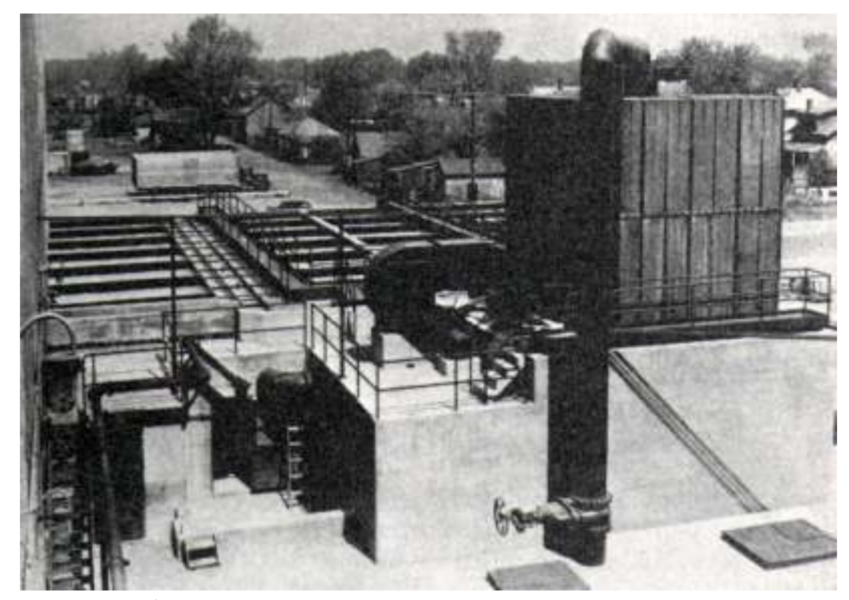
$$FeR_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HR + FeSO_4$$

يمكن التوصل إلى إنتاج المياه الخالية من الحديد ، الخفيفة القلوية ، عن طريق تمرير جزء عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين ، والجزء الآخر عبر مبادل كاتيونات الصوديوم ، ثم مزج الجزئيين بنسب مقررة سلفاً لتأمين الماء الخالي من الحديد ، وبالدرجة المرغوبة من القلوية . والمبادئ المتضمنة ، هي أن حديد الحديد يزال في كلتا المعالجتين ، و أن البيكربونات تزال كلياً بواسطة مبادل كاتيونات الهيدروجين ولكن الكبريتات والكلوريدات تتبدل إلى كميات مطابقة من حمض الكبريت وحمض كلور الماء ، و أن مبادل كاتيونات الصوديوم يغيّر بيكربونات الكلسيوم والمغنزيوم والحديد ، إلى بيكربونات صوديوم وكبريتات وكلور صوديوم متعادلين . وبعدئذٍ ، وعن طريق مزج صبيبين بسبب صحيحة ، يستخدم محتوى بيكربونات الصوديوم من صبيب مبادل كاتيونات الصوديوم لمعادلة المحتوى الحمضي لصبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين ،

ولإنتاج أية درجة من القلوية تدعو إليها الحاجة في تصميم كهذا يستخدم صمام مزج آلي لمزج الصبيبين بنسب صحيحة انظر الفصل 16 .

4ً . إزالة الحديد بطرق الكلس البارد صودا :

يمكن إزالة بيكربونات الحديد بأي من طرق تيسير الماء بالكلس البارد صودا ، عن طريق أكسدة الحديد بالتهوية ، بحيث تترسب البيكربونات في العكارة على شكل هيدروكسيد الحديد اللاذواب وتنجز عملية التهوية عادة في كلا جهاز التهوية المكشوف أو ذي التيارات القسرية (نازع الغاز) الذي يركب فوق جهاز التيسير . إذا كانت كمية بيكربونات الحديد المعبر عنها كـ Fe . موجودة بنسبة 4 ppm أو أكثر ، فإنه يمكن عادة الاستغناء عن إضافة أي مادة تخثير أخرى لأن كمية هيدروكسيد الحديد المتشكلة من 4 ppm من حديد الماء تكافئ تلك المتشكلة بواسطة جرعة 20 ppm من كبريتات الحديد .



الصورة2 . 14 جهاز مستطيل لنزع الغاز يعلو جهازي ترسيب في مصنع ورق في أوهايو لإزالة 2ppm من الحديد ، و 0.3ppm من المنغنيز من مياه بئر عسرة تتبعها المعالجة بالكلس البارد والتخثير وترشيح صاعد في أجهزة الترسيب . يستخدم الماء المعالج أولاً كماء تبريد للمكثفات السطحية ، وثانياً كمياه معالجة في عمليات القصر . القدرة 317000 جالون / سا .

عندما ترفع قيمة PH الماء المعالج بالكلس دائماً إلى حوالي 10 أو أكثر عن طريق المواد الكيميائية لترسيب العسرة ، تكون أكسدة الحديد سريعة جداً وكاملة . وترشيح المياه المعالجة غير ضروري بالنسبة لكثير من الاستخدامات الصناعية إذا أجريت إزالة الحديد في الدثار العكر (تماس الجوامد المعلقة) من نموذج تيسير الماء بالكلس صودا ، أما إذا كان الماء الخالي من كافة آثار العكارة والحديد مطلوباً، عندئذٍ يكون الترشيح ضرورياً . وفيما يتعلق بالمياه التي تتطلب معالجة أبعد كما في طريقة الكلس البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ، أو الكلس البارد وطريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات ، فإن هذه المياه ترشح دائماً بين مرحلة الكلس البارد والمرحلة أو المراحل التالية ، سواء احتوى الماء الأصلي على الحديد أم لا .

ً6 . إزالة الحديد بطريقة زيوليت المنغنيز :

يعد زيوليت المنغنيز من زيوليت الرمل الخضراوي ، المعالج بمعالجة متعاقبة بكبريتات المنغنيز وبرمنغنات البوتاسيوم. يؤدي هذا إلى ترسيب الأكاسيد العليا للمنغنيز في وعلى حبيبات الرمل الخضراوي و زيوليت المنغنيزهو مادة حبيبية ، يتميز بالمواصفات التالية : اللون : أسود

حجم النخل : شبكه 16 . 50 ميش

الوزن بالقدم^3 : 98 ليبره

القدرة من أجل الحديد أو المنغنيز : 0.09 ليبرة / قدم^3

$KMnO_4$ في التجديد : 0.18 ليبره / قدم^3

يجب أن تكون معدلات الجريان القصوى المستخدمة في الوحدات الضغطية 3 جالون / د / قدم^2 ، ومعدل جريان الغسل الراجع الأصغري 8جالون/د/قدم^2 . يقتصر استخدام المنغنيز زيوليت لإزالة الحديد أو المنغنيز ، في المنشآت الصناعية الكبيرة على المياه التي لا تحتوي على أكثر من 1 ppm من الحديد أو المنغنيز معبراً عنه كـ Fe أو Mn على التوالي . ويمكن استخدامه للاستعمال المنزلي وفي المنشآت

الصناعية الصغيرة مع المياه التي تحتوي حتى إلى مقدار 10ppm من الحديد أو المنغنيز . إذا كان محتوى الماء من ثاني أكسيد المنغنيز عالياً ، ينصح بمعادلته عن طريق التغذية بمادة قلوية ، أو بالتمرير عبر معادل الكلسيت قبل تمريره عبر المنغنيز زيوليت ، لمنع التقاط المنغنيز من سرير مستنزف . ومع أن لهذه الطريقة في إزالة الحديد بعض الحدود ، إلا أنها تستخدم حيث تكون معالجة المياه تحت الضغط مرغوبة ، وحيث يكون المحتوى الأصلي من الحديد أو المنغنيز ضمن الحدود ، أو أن يكون قد خفف إلى تلك الحدود .

لا تتضمن طريقة المنغنيز تيسيراً للماء . يؤكسد السرير بيكربونات الحديد أو المنغنيز إلى أكاسيد مميأة غير ذوابة عالية ، ويرشحها في الوقت نفسه من الماء . يستخدم جمع أو فصل مدخل ومخرج مقاييس الضغط الارتدادي في السرير . وعندما يصل الضغط إلى 5ـ 8 إنشاً / قدم^2 ، ينظف السرير بالغسل الراجع . وبعدئذٍ ينجز التجديد على فترات مقررة سلفاً ، تعتمد على كمية الحديد أو المنغنيز الموجود ، ومعدل الجريان وعدد ساعات الاستخدام اليومي ، وتكون متباعدة بمقدار 5 ـ 20 يوماً تقريباً برمنغنات البوتاسيوم مادة كيميائية مكلفة تقريباً ، وهو السبب الرئيسي الذي يجعل استخدامها محصوراً بالأغراض الصناعية ، التي لا يكون مطلوباً فيها إزالة أكثر من 1ppm من الحديد أو المنغنيز يمكن تخفيف كميات وتكاليف التجديد اللازم عن طريق تهوية الماء ويمكن إجراء ذلك بإدخال كمية محددة من الهواء إلى الماء تحت الضغط قبل المعالجة بالمنغنيز زيوليت ويجب أن تكون الكمية المدخلة أقل بقليل من الكمية اللازمة لإشباع الماء عند الضغط الجوي . ويفضل إجراء ذلك بواسطة جهاز الإشباع الضغطي ، الذي يظهر في الصورة 4. 10 في الفصل العاشر .

ثانياً ـ إزالة هيدروكسيد الحديد : Removal Of Ferric Hydroxide

بما أن ذوبانية هيدروكسيد الحديد أقل بكثير من 0.1 ppm ، لذلك يمكن إزالته بطريقة الترشيح العادية ، وإذا كانت الكميات كبيرة بما يكفي لتبرير الترشيح ، فإنه يجب أن تسبق عملية الترشيح عملية الترويق . وهيدروكسيد الحديد مادة خثرة ، ولذلك إن إضافة مادة مخثرة غير ضرورية ، إلا في الحالات التي قد توجد فيها في أشكال غراوانية أو عضوية أو بكميات صغيرة ، ولكن عند وجود كميات ملحوظة من هيدروكسيد الحديد ينصح بالبحث عن وجود حديد الحديد الذواب ، فإذا كان موجوداً ، يتوجب إجراء التهوية للتأكد من أن كامل الحديد سيكون في كل الأوقات على شكل حديد ثلاثي . فمثلاً إذا ضخت مياه بئر تحتوي على بيكربونات الحديد بواسطة جهاز يستخدم صهريج تخزين يعمل بضغط الهواء ، فقد تحدث الحالات التالية ويمكن أن يضاف إليها كثير من حالات سوء الفهم في التبدلات السريعة جداً :

(1) قد يشبع الماء بإفراطه بالأكسجين المنحل مقارنة بالإشباع عند الضغط الجوي وقد يوجد كامل الحديد على شكل هيدروكسيد وقد يحدث التآكل والتدرن .

(2) قد يكون الماء خالياً من الأكسجين المنحل ، وخالياً عملياً من هيدروكسيد الحديد ، قد يكون الحديد الأصلي بالكامل موجوداً على شكل محلول مثل حديد الحديدي ، وقد تكون هناك كمية إضافية من حديد الحديد على شكل محلول ، بسبب التقاط الحديد من صهريج التخزين المتدرن ومن الشبكة

(3) قد يحتوي الماء على كميات متفاوتة من هيدروكسيد الحديد الغير ذواب المعلق ، وحديد الحديد الذواب .

في ظل الظروف السابقة هناك طريقة آمنة وحيدة يمكن اتباعها هي تهوية المياه عند قيمة للـPH تضمن ترسيب كامل الحديد ، الذي قد يكون موجوداً ضمن الظرف الأكثر معاكسة . ونضيف بين معترضتين ، أنه يمكن ملاحظة أن أكثر العينات لقياسات الحديد سحبت من الجانب الخاطىء (الصبيب للصهاريج الضغطية) واستخلصت استنتاجات خاطئة أكثر مما يمكن للمرء أن يتوقع ، ومن الواضح أن هذا

الصبيب عند وجود سحب بطيء جداً ، بحيث يكون الحديد قد تأكسد كلياً وأزيل بالترويق ، أو على العكس ، قد يكون الحديد عالياً جداً عند السحب الشديد ، ويحمل ثقيلاً من الحديد المروّق سابقاً . ولذلك فإن الطريقة الوحيدة لقياس محتوى الحديد في الماء الخام تكون بسحب العينة مباشرة من البئر وليس من بعد الصهريج الضغطي .

ثالثاً . إزالة كبريتات الحديد : Removal of Ferrous Sulphate

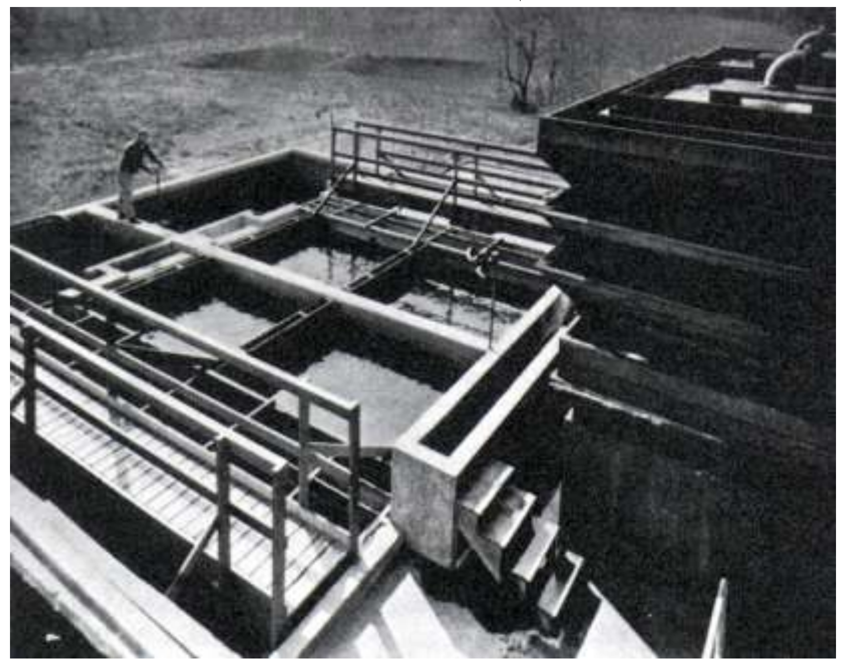
كبريتات الحديد مقوم شائع في المياه المعدنية الحمضية . قد تحتوي هذه المياه أيضاً على حديد ذائب ، يوجد على شكل بيكربونات الحديد (انظر الفصل الثاني) ، الجدول 15 . 2) ، أو على شكل هيدروكسيد الحديد الغير ذواب المعلق . قد يتراوح المحتوى الإجمالي من الحديد في المياه الحمضية من 1 إلى أكثر من 200ppm ، وقد تتراوح الحموضة من بضع أجزاء في المليون إلى ما يزيد عن 1000 ppm ، وبعض هذه المياه عالية الحموضة والعسرة والكبريتات إلى الحد الذي لا تستحق فيه المعالجة ، من زاوية تكاليف المعالجة أو من زاوية ارتفاع إجمالي الجوامد المنحلة في المياه بعد المعالجة . أما البعض الآخر من هذه المياه ، فمطواع للمعالجة . يزال الحديد من المياه الحمضية بواسطة التهوية والمعادلة ، والترويق ، والترشيح . ينصح عادة بتهوية هذه المياه قبل المعادلة ، لأن محتواها من ثاني أكسيد الكربون الطليق كثيراً ما يكون مرتفعاً . وبعدئذٍ تنجز المعادلة بالكلس أو بالصودا الكاوية ، وبكمية زائدة لرفع قيمة الـPH إلى أكثر بقليل من 8 .

إذا كان محتوى الحديد أكثر من 25 ppm (تتراوح الأرقام النظرية تقريباً في درجات حرارة من حوالي 90 . 40 درجة فهرنهايت و 90 ppm - 50 من الحديد) فيصح بإجراء تهوية لضمان زيادة مناسبة من الأكسجين . وفيما عدا هذا فالمعالجة تشبه إلى حد بعيد ، المعالجة الموصوفة في إزالة الحديد بالتهوية والترويق والترشيح . ولكن ينصح بتأمين فترة إيقاف كافية مع المياه الحمضية التي تحتوي على كمية أعلى من الحديد ، لضمان ترسيب جيد ، وبالتالي تخفيف الحمل عن المرشحات .

ملاحظة :

في 23 من 25 عينة من المياه الجوفية الحمضية المدرجة في الجدول 15 ، 2 الفصل الثاني يتراوح محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق من 50- ppm408 ، وكانت المحتويات الفعلية أعلى بدون ريب ، لأن هذه النتائج تحصلت من عينات منقولة ، ولاشك في بعضاً من محتوى ثاني أكسيد الكربون كان قد ضاع أثناء عملية النقل (انظر الفصل 3) .

الصورة 3 . 14محطة معالجة في بلدية بنسلفانا للتخلص من 33ppm الحديد من و 0.3 ppm من المنغنيز و 6 ppm من الحموضة المعدنية بواسطة التهوية خلال حوضين والتحكم بالـ PH بواسطة الكلس



رابعاً . إزالة الحديد العضوي :Removal of Organic (Chelated) Iron

كثيراً ما يوجد الحديد في المياه السطحية وخصوصاً ذات اللون الغامق إلى حد ما ، في شكل عضوي (مستخلب) ، وبالتالي لا يستجيب لمعالجات التهوية والترويق والترشيح وأحياناً يوجد جزء من حديد المياه الجوفية بهذا الشكل . ويتضح ذلك من تحليل عينة من مياه بئر في توكرتون : J. N. Tuckerton

حديد على شكل Fe 3.5ppm . إجمالي العسرة على شكل $CaCO_3$ 12ppm
صوديوم على شكل $CaCO_3$ 16ppm . قلوية على شكل $CaCO_3$ 21ppm
كلوريدات على شكل $CaCO_3$ 3ppm . كبريتات على شكل $CaCO_3$ 3ppm
ثاني أكسيد الكربون الطليق على شكل CO_2 10ppm

PH	**6.6**
اللون	**35**

ازداد PH هذه المياه عند التهوية إلى 8.3 بإضافة الكلس ، الذي أتاح فترة إيقاف مدتها ساعة واحدة ، وأعطى الترشيح صبيباً يحتوي على 2.6 ppm من الحديد معبراً عنه كـ Fe . حتى مع المعالجة السابقة وزيادة فترة الإيقاف إلى 48 ساعة ، بقي محتوى الحديد في الصبيب عالياً ، 1.8 ppm كـ Fe ، بشكل غير مرغوب فيه . وعندئذٍ بذلت محاولات لأكسدة هذا الحديد العضوي أو الغرواني بالكلور ، وكان هذا أيضاً غير فعال . ولكن عندما جرت تهوية هذا الماء ، وتخثيره بـ 1غ/جالون من الشب (إضافة لـ 0.5غ / جالون من رماد الصودا) وبقيمة 6.7 للـ PH ، وترك يستقر لمدة 10دقائق ، ثم رشح بعد ذلك أزيل محتوى الحديد على التوالي واحتوى صبيب الترشيح على 0.1 ppm فقط من الحديد معبراً عنه كـ Fe . ونموذج آخر لمياه تحتوي على حديد عضوي بمقدار عال بشكل غير عادي هي مياه بئر نقية جداً لكنها غامقة اللون ، وتتركب مما يلي :

حديد على شكل Fe	**12ppm**
إجمالي العسرة على شكل $CaCO_3$	**178ppm**
قلوية على شكل $CaCO_3$	**94ppm**
لون	**450**
PH	**6.65**

ليس للتهوية تأثير في إنقاص محتوى الحديد ، حتى لو وصلت فترات الإيقاف إلى 5 أيام . والمعالجة بالكلور ذات أهمية ، لأن الجرعات حتى بالنسبة لـ 48ppm ، أنقصت الحديد فقط إلى 9.5 ppm واللون غلى250 . وكان التخثير بـ 8غ/جالون من

كبريتات الألومنيوم ، عند قيمة 6.2 للـPH فعالاً لأنه أحدث لبادة ترسبت بسرعة ، وأنقصت الحديد إلى 0.3 ppm في صبيب الترشيح واللون إلى 30 ، وهذا كان كافياً بالنسبة للاستخدامات المنزلية .

وعموماً يزال الحديد العضوي (المستخلب) عن طريق التخثير بكبريتات الألومنيوم عادة ، والترويق ، والترشيح . ويمكن الاستغناء عن مرحلة الترشيح في بعض الاستخدامات الصناعية عند إجراء الترويق والتخثير في المعدات من نموذج الدثار العكر .

يوجد الحديد العضوي (المستخلب) عادة في بعض المياه السطحية ويوجد أيضاً في بعض مياه الآبار الضحلة ، ونادراً جداً في الآبار العميقة . تحمل المياه التي تحتوي على الحديد بهذا الشكل عادة لوناً واضحاً ، ولكن وكما أشرنا في الفصل الرابع ، فإن المياه الملونة بعمق لا تشير بالضرورة إلى وجود الحديد . نادراً ما تتجاوز كمية الحديد العضوي في المياه السطحية 2 أو 3 ppm لولا بعض الاستثناءات ففي بعض من مياه الآبار الغامقة اللون ، كما في العينة الثانية من العينتين المذكورتين آنفاً ، قد يكون محتوى الحديد أعلى بكثير . فإذا وجدت بالإضافة إلى محتوى الحديد العضوي بيكربونات الحديد الذوابة ، فإنها ستتأكسد إلى شكل حديد غير ذواب بواسطة التهوية أو المعالجة بالكلور قبل إضافة مادة التخثير ، ولمزيد من التفاصيل حول التخثير ، والترويق ، والترشيح انظر الفصل 13 .

إزالة بيكربونات المنغنيز :

المنغنيز مقوم أكثر ندرة من الحديد في مختلف موارد الماء ، لكنه حيث يوجد فإنه يظهر إلى حد كبير بالأشكال نفسها كالحديد . وأشيع شكل يوجد فيه في المياه الجوفية هو البيكربونات المنغنيزية . وهي ذوابة أكثر من بيكربونات الحديد . وكثيراً ما تحتوي مياه المناجم الحمضية على الكبريتات المنغنيزية إضافة إلى كبريتات الحديد ، كما تحتوي بعض المياه السطحية ومياه الآبار الضحلة على المنغنيز العضوي أو

الغراونـي ، ولكـن هيدروكسيدات المنغنيـز الـلا الذوابـة المعلقـة لا تـرى إلا نـادراً ، ربمـا لأنهـا تحتـاج إلـى قيمـة أعلـى للـPH لأكسـدة هيدروكسيد المنغنيـز أكثـر ممـا تحتاجهـا أكسدة هيدروكسيد الحديد .

البيكربونات المنغنيزية لا لون لها لذلك تكون مياه الآبار العميقة غير المهوّاة ، والتي تحتوي عليها ، شفافة عند سحبها حديثاً وكما يظهر في الجدول 13 . 2 ، في الفصل الثاني ، تحتوي أيضاً معظم المياه الحاملة للمنغنيز على بيكربونات الحديد . ولذلك تشكل هذه المياه عند تركيدها بالتماس مع الهواء ضبابة رقيقة ، تصبح قاتمة فيما بعد ، ثم ترسب هيدروكسيد الحديد المصفرّ إلى بني محمرّ . وسيتشكل هذا الراسب ببطء بقيمة PH المنخفضة إلى 5 ، ويكون ترسبها بكثير إذا كانت قيم الـPH أكثر من 7

ولكن هناك بعض المياه الحاملة للمنغنيز ، تكون خالية عملياً من الحديد . ففي الجدول 13 . 2 مثلاً نلاحظ أن هناك أربع عينات تحتوي على كميات مهملة من الحديد 0.1 ppm أو أقل وسبع عينات تحتوي فقط على 0.3 ppm من الحديد . ونلاحظ أيضاً أن كمية المنغنيز أقل عادة من 3 ppm وقلما تكون أكثر من 5ppm وان أكثر العينات المائية المدرجة تحتوي على أقل من 1 ppm من المنغنيز ولكن المنغنيز حتى ضمن هذه الحدود الضيقة يكون وجوده مزعجاً ، وهكذا يجب أن تكون التفاوتات المسموحة أقل من 0.05 ppm بالنسبة لكثير من الاستخدامات الصناعية .

ولنفترض أن لدينا عينة مائية تحتوي على حوالي 5 ppm من المنغنيز في محلول على شكل بيكربونات منغنيزية ، خالية من الحديد وقيمة الـPH فيها أعلى من 8 عندئذٍ سوف لن يظهر ، حتى بعد التهوية بساعات ذلك التضبب ، ولا تلك الرواسب المنظورة ، لأن المنغنيز في أكسدته ، يتطلب أن تكون قيمة PH أعلى مما تكون عليه في أكسدة الحديد . فإذا أضفنا بعض الكلس أو الصودا الكاوية إلى هذا الماء ، بحيث

ترتفع قيمة الـPH فيه ، ببطء إلى حوالي 9 .5 أو بسرعة إلى 10 أو أكثر ، فتظهر أولاً ضبابة مبيضّة ، تتحول إلى لون يتراوح من بني فاتح إلى بني غامق ، وأخيراً تتشكل ثم تترسب لبادات بنية غامقة إلى سوداء تقريباً .

كثيراً ما يصدف ، عند معالجة المياه التي تحتوي على المنغنيز والحديد ، أن لا ترتفع قيمة PH بما يكفي فينتج عن ذلك أن يتأكسد الحديد ويزال ، ويبقى المنغنيز بكامله أو جزء منه على شكل محلول هذه المياه مزعجة تماماً حتى عندما تحتوي على كميات تبدو وكأنها بسيطة جداً ، من المنغنيز ففي إحدى البلديات مثلاً ، حيث كان الحديد يزال دائماً بكامله . ويزال المنغنيز جزئياً بحيث لا يتجاوز الباقي منه 0.2 ppm ، شوهدت قطعاً من شبكة أنابيب 2إنشاً مغطاة برواسب سوداء بثخانة $1/4$ إنشاً ، سببتها هذه الكميات البسيطة من المنغنيز ، يمكن أن تتشكل هذه الطبقات بفعل بكتريا المنغنيز ، والتي غالباً ما تكون مزعجة أكثر من بكتريا الحديد . وكثيراً ما تتفكك هذه الناميات كما في (كرينوذركس) الحديد ، بكتل كبيرة ، فتسد الصمامات والمقاييس والمنافث الخ .

والمنغنيز يلون المواد ، وخصوصاً عندما ترفع قيمة الـPH كما في غسل الملابس ، أو التنظيف ، أو العمليات الأخرى للغسل ، واللطخات الناتجة إذا لم تحجب بالحديد ، فقد تظهر بلون قذر بني أو رمادي أو أسود ، وتظهر عادة على شكل بقع وخيوط . وكثيراً ما تكون كتل الـ (كرينوذركس) الميتة سببا في تشكل البقع والخيوط . لا يمكن استخدام المياه التي تحتوي على البيكربونات المنغنيزية في صناعات النسيج ، أو الصباغة ، أو الدباغة ، أو غسل الملابس ، أو في مجموعة من الاستخدامات الأخرى الصناعية . وذكر في صناعة العجينة والورق أن المياه التي تحتوي على أكثر من 0.05 ppm من المنغنيز (على شكل Mn) لا يمكن التسامح بها ، إلا للمنتجات من الصنف الرديء .

وكما يزال الحديد الموجود على شكل بيكربونات الحديد ، يمكن إزالة المنغنيز الموجود على شكل بيكربونات منغنيزية ، وذلك بإحدى الطرق التالية :

(1) التهوية ، والترويق ، والترشيح .

(2) طريقة تيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم .

(3) طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين .

(4) طريقة تيسير الماء بالكلس صودا .

(5) طريقة زيوليت المنغنيز .

1 . إزالة المنغنيز بالتهوية والترويق والترشيح :

تشبه إزالة المنغنيز من المياه التي تحتوي على بيكربونات منغنيزية بالتهوية والترويق والترسيب والترشيح ، إزالة الحديد من المياه التي تحتوي على بيكربونات الحديد ، لأن الأكسدة ضرورية لتحويل المركبات المنغنيزية الذوابة على نحو ملحوظ إلى أكسيد مميأ عالي الذوبانية عملياً .

وللبيكربونات المنغنيزية في الماء البارد المشبع بـ CO_2 ذوبانية تصل إلى حوالي 191ppm ، بينما تصل ذوبانية الكربونات المنغيزية في الماء البارد الخالي من CO_2 إلى حوالي 31 ppm ، وهيدروكسيد المنغنيز إلى أكثر من 1 ppm ، ويعبر عن الجميع كـ Mn . وبما أن ذوبانية الرسابة المؤكسدة تكون أقل من 0.01 ppm ، يمكن إحداث إزالة ممتازة للمنغنيز عن طريق الأكسدة والترشيح .

إن قيم الـPH اللازمة لأكسدة المنغنيز ، أعلى بكثير منها لأكسدة الحديد . تحدث في 15 دقيقة درجة من أكسدة بطيئة لكن تقديرها مع الحديد عند قيمة للـ PH = 5 ومن الضروري أن تكون قيمتها مع المنغنيز 9 للحصول على درجة من الأكسدة يمكن تقديرها . وقد نتجت أكسدة وإزالة جديرة للحديد عند قيمة 7 أو أكثر للـPH . وكانت قيمة 10.3 للـPH ضرورية مع المنغنيز عند تحريك الماء يظهر بوضوح تأثير قيمة الـPH على أكسدة المنغنيز المنغنيزي في الجدول 4 ـ 14 ، ونظراً لتشابه الوزن

الذري تقريباً للحديد أو المنغنيز ، فإن كمية الأكسجين اللازمة نظرياً ، هي من الناحية العملية نفسها بالنسبة للمنغنيز والحديد ، أي أن ppm 1 من الأكسجين المنحل سيؤكسد ppm 7 من المنغنيز المنغنيزي .

التأثيرات الحفازة لهيدروكسيدات أو أكاسيد المنغنيز :

كان معروفاً منذ زمن طويل أن أكاسيد المنغنيز المترسبة سابقاً تمارس تأثيراً حفازاً على أكسدة المنغنيز المنغنيزي بواسطة الهواء المنحل . فمثلاً في منشآت إزالة المنغنيز ، كثيراً ما كان ضرورياً (إنضاج) أسرة الترشيح (التشغيل حتى تترسب بعض أكاسيد المنغنيز على وسط الترشيح) قبل التمكن من إزالة المنغنيز بشكل جيد ويمكن في أسرة الترشيح المنضجة إزالة المنغنيز عند قيمة للـPH أقل مما تكون عليه في أسرة أخرى .

الجدول 4 . 14 المنغنيز : تأثير قيمة الـPH على أكسدة المنغنيز المنغنيزي بواسطة الهواء المنحل بدون تحريك .

ماء خام		المنغنيز في ماء مهوّى ومرشح		
PH	منغنيز (ppm)	(15 د)	(30 د)	(60 د)
8.5	10	–	–	10
9	10	–	–	9
9.3	10	8.5	8	7.5
9.5	10	7.5	5	3.2
9.7	10	3	1.3	0.9
9.95	10	0.9	0.7	0.6
10.3	10	0.02>	0.02 >	0.02>

ولتوضيح هذا التأثير الحفاز أجريت سلسلة من الاختبارات تم فيها بسرعة تحريك كميات مؤلفة من 1غ / ل من هيدروكسيد المنغنيز المؤكسد سابقاً والمرسب ، والمغسول تماماً مع الماء المهوّى بمختلف قيمPH ، الذي يحتوي على ppm 10 على

شكل Mn من البيكربونات المنغنيزية . فأظهرت النتائج كما يبين الجدول 5 ـ 14 ، وبالمقارنة مع الجدول 5 . 14 أن البيكربونات المنغنيزية كانت قد تأكسدت كلياً بواسطة الهواء ، عند استخدام مادة حفازة عند PH 8.5 بينما كان يجب أن تكون قيمة PH 10.3 عند عدم استخدام المادة الحفازة . علاوة على ذلك لم تحدث أكسدة يمكن قياسها خلال فترة ساعة عند قيمة PH 8.5 ، وعند عدم استخدام المادة الحفازة ، ولكن حدثت الأكسدة بنسبة 70% ، خلال فترة ساعة وبقيمة PH 7.5 عند استخدام المادة الحفازة . هناك ملمح سيئ واحد في الإزالة التحفيزية للمنغنيز بواسطة سرير (منضج) أي أن الطبقة المتشكلة على وسط الترشيح تميل مع مرور الوقت إلى (التفكك) فتحمل الجزئيات الصلبة الصغيرة من هذه الرواسب على شكل مستعلق في صبيب المرشح . وقدتم بذل محاولات للتغلب على هذه الصعوبة ، عن طريق حل الرواسب قبل أن تتخثن بما يكفي لتفككها عن وسط الترشيح . ولكن ينصح في كثير من الاستخدامات الصناعية ، بإكمال الأكسدة قبل وصول الماء إلى المرشحات النهائية . والمعدات المستخدمة لإزالة البيكربونات المنغنيزية ، بواسطة التهوية ، والترويق ، والترشيح هي نفسها التي أتينا على وصفها تحت عنوان (إزالة الحديد) بهذه الطريقة :

الجدول 5 . 14 التأثير لحفاز لـ 1غ / ل من هيدروكسيد المنغنيز المهوّى والمرسب سابقاً ، بالتحريك ، أثناء أكسدة المنغنيز المنغنيزي في مختلف قيم PH .

ماء خام + مادة حفازة		المنغنيز في ماء مهوى ومرشح (أجزاء ppm)		
PH	منغنيز (ppm)	(15 د)	(30 د)	(60 د)
7.5	10	–	–	3
8	10	–	–	0.3
8.5	10	0.1>	0.1>	0.1>
9	10	0.1>	0.1>	0.1>

أكسدة المنغنيز المنغنيزي بالكلور:

أدرجت في الجدول 6 . 14 النتائج المحصلة في تأكسد المنغنيز المنغنيزي بواسطة الكلور . وعلى الرغم من كون الكلور أكثر نشاطاً من الأكسجين المنحل ، فإن قيم الـ PH اللازمة لإكمال الأكسدة تكون عالية تقريباً كما هي مع الهواء بدون مادة حفازة ، وأعلى كثيراً (PH 10 مقارنة بـ 8.5) منها عند استخدام التهوية مع المادة الحفازة .

الجدول 6 . 14 تأثير الـ PH على تأكسد المنغنيز المنغنيزي بواسطة الكلور بدون تحريك .

ماء خام		المنغنيز في ماء معالج ومرشح		
PH	المنغنيز (ppm)	(15 د)	(30 د)	(60 د)
8.05	10	–	–	9
9	10	8	6.5	5
9.45	10	4.5	2.5	1.3
10	10	3	0.1	0.02>

2ً . إزالة المنغنيز بواسطة طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم :

يمكن إزالة المنغنيز المنغنيزي كحديد الحديد ، بواسطة طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، وفي وقت واحد مع إزالة العسرة والتفاعل كما يلي:

$$Mn(HCO_3)_2 + 2NaR \rightarrow MnR_2 + 2NaHCO_3$$

وعند التجديد بالملح في نهاية شوط التيسير ، يدخل الصوديوم إلى مبادل الكاتيونات ويخرج المنغنيز على شكل كلور منغنيزي ، الذي يشطف إلى الهدر مع كلوريدات الكلسيوم والمغنزيوم . وفيما يلي تفاعل مبادل أو تجديد الكاتيونات المنغنيزية :

$$MnR_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + MnCl_2$$

إن معظم المياه الجوفية التي تحتوي على بيكربونات منغنيزية ، تحتوي أيضاً على بيكربونات الحديد ، ويمكن في هذه المياه إزالة الحديد والمنغنيز بالإضافة إلى العسرة في وقت واحد ، وذلك بواسطة طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم . وفيما يتعلق بالعامل لتحويل شكل Mn من المنغنيز إلى كربونات كلسيوم ،فإن هذا العامل قريب

جداً لعامل الحديد ، أي لعامل كربونات الكلسيوم (1.82 مقارنة بـ 1.8) إلى الحد الذي يمكن معه استخدام عامل الحديد للجهتين . ويمكن أيضاً استخدام النموذج نفسه من مبادلات الكاتيونات ، والقدرات ، كما ذكرنا تحت عنوان إزالة الحديد بواسطة طريقة مبادل كاتيونات الصوديوم ، لإزالة المنغنيز .

3ً. إزالة المنغنيز بواسطة طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين :

يمكن إزالة المنغنيز المنغنيزي سواء كان شكل بيكربونات أو كلوريد أو كبريتات بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين . ومع استخدام البيكربونات كمثل يكون التفاعل التالي كما يلي :

$$Mn\ (HCO_3)+2HR \rightarrow MnR_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

في نهاية شوط التشغيل يتم تجديد سرير مبادل الكاتيونات بمحلول حمض الكبريت ، الذي يزيل المنغنيز على شكل كبريتات منغنيزية ويستعيد مبادل الكاتيونات على حالته الهيدروجينية الأصلية وفقاً للتفاعل التالي :

$$Mn\ R_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HR + Mn\ SO_4$$

ولاستخدام طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين بالاقتران مع طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، انظر المادة عن (إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين) في هذا الفصل ، ولتفصيل هذه الطريقة انظر الفصل 16 .

4ً . إزالة المنغنيز بطريقة الكلس البارد صودا :

يمكن إزالة المنغنيز بشكل ممتاز في أي من طرق الكلس البارد صودا بالتهوية البسيطة للماء قبل دخوله إلى معدات التيسير . وبسبب الارتفاع المتحصل في قيم الـPH أثناء المعالجة ، تتأكسد المركبات المنغنيزية الذوابة بسرعة إلى هيدروكسيد منغنيزي غير ذواب . وإذا كنا نريد صبيباً شفافاً تماماً خالياً من آثار العكارة أو المنغنيز ، فإننا نحتاج إلى ترشيح الماء بعد تهويته وتخثيره وترويقه ، ولكن في كثير من الاستخدامات الصناعية الاستغناء عن مرحلة الترشيح الإضافية ، إذا استعملنا نموذج معدات الدثار العكر . انظر الفصل 18 .

5 . إزالة المنغنيز بطريقة زيوليت المنغنيز :

يمكن إزالة المنغنيز بطريقة زيوليت المنغنيز والإجراء والقدرات وجرعات التجديد ، الخ ، هي نفسها كما وصفناها سابقاً تحت عنوان إزالة الحديد .

إزالة كبريتات المنغنيز

Removal Of Manganous Sulphate

قد توجد كبريتات المنغنيز ، التي توجد عادة بكميات أكبر من كبريتات الحديد في مياه المناجم الحمضية ، والآبار ، والمياه السطحية وفيما عدا أنه يجب بعد التعادل ، رفع قيمة PH المياه الحمضية إلى رقم أعلى بكثير ، أكثر من 10 بقليل ، فإن إزالة المنغنيز من مياه كهذه تتم بالطريقة نفسها لإزالة الحديد .

إزالة المنغنيز العضوي (المستخلب) :

قد يوجد المنغنيز العضوي (المستخلب) في بعض المياه السطحية وأحياناً في مياه الآبار . والمنغنيز على هذا الشكل لا تمكن إزالته بالأكسدة العادية مع الترشيح ، ولا يستجيب غالباً حتى لفعل التأكسد الشديد الذي يحدثه الكلور . والمنغنيز العضوي كالحديد العضوي ، يستجيب عادة للتخثير بالشب أو مخثر حديدي وعندئذٍ يمكن إزالته بالترشيح .

ملاحظة :

ذكرنا في الفصل 10 نلاحظ غالباً ، وبصورة متكررة ، أن المنغنيز يحتجز الحديد . لكن هذا لا يحدث ، ولكن مادة عضوية يمكنها أحياناً أن تحتجز كلا المعدنين . وهذا يفسر بدون شك بعضاً من هذه الخرافات حول إزالة الحديد والمنغنيز قد يحتاج هذا الغرض إلى توسيع بعض الشيء لتوضيحه:

أولاً :

إذا احتوى الماء على بيكربونات الحديد وبيكربونات منغنيزية بدون حديد أو منغنيز عضوي عندئذٍ ، تزيل عملية تهوية الماء ، ورفع قيمة الـPH إلى حوالي 7. 8 ، وترويقه ، وترشيحه الحديد ، لكن التأثير قد يكون قليلاً أو غير موجود على المنغنيز مالم يمر الماء من خلال مرشحات منضحة . إذا رفعت قيمة PH الماء المهوّى إلى أكثر من 10 ، فسيتأكسد الحديد والمنغنيز ، ويزالان بالترويق والترشيح ويظهر هذا في التجارب الحقلية التالية :

	ماء خام	مهوى ، ومروّق	مهوى +جير

		ومرشح	مروّق ومرشح
حديد كأجزاءppm من Fe	17	0.2	0.1
منغنيز كأجزاءppm من Mn	2.3	2.3	0.1>
قيمة الـ PH	6.2	7	10.8

ثانياً :

إذا احتوى الماء على بيكربونات الحديد وبيكربونات منغنيزية ، وعلى حديد ومنغنيز عضويين أو غراونيين ، فإن التهوية ورفع قيمة الـ PH إلى أكثر من 10 ، والترويق والترشيح ، ستزيل جزئياً فقط الحديد والمنغنيز . ويظهر هذا في التجارب التالية بإضافة 2ppm من Fe و2ppm من Mn على شكل بيكربونات إلى ماء المستنقعات الغامقة اللون ، وتهويتها ، ورفع الـPH فيها إلى 10.5 :

	ماء خام	تهوية + جير وترويق ، وترشيح
أجزاء ppm من الحديد على شكل Fe	2	1.2
أجزاء ppm من المنغنيز على شكل Mn	2	1.1
قيمة PH	6	10.5

كان واضحاً في التجارب أعلاه أن المادة العضوية في هذه المياه الغامقة اللون كانت كافية لاحتجاز 2.1ppm من الحديد و1.1ppm من المنغنيز في المحلول ، حتى عندما تمّت تهوية الهواء في قيمة 10.5 للـPH . وكان من المهم ملاحظة أن النتائج نفسها قد تحصلت سواء أضيفت أولاً بيكربونات الحديد أو البيكربونات المنغنيزية . أزال التخثير بكبريتات الألومنيوم الحديد والمنغنيز العضويين معاً من الماء . ولكن إزالة المنغنيز العضوي ليس دائماً بمثل هذه السهولة ، وينصح باختبارات المطربانات الفخارية في الحقل على العينات المسحوبة حديثاً .

الفصل الخامس عشر

طريقة تيسير الماء
بتبادل كاتيونات
الصوديوم (زيو ليت)

Sodium Cation Exchange (Zeolite)
Water Softening Process

طريقة تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم (زيوليت)

Sodium Cation Exchange (Zeolite)Water Softening Process

قديماً كان أول مبادل للكاتيونات استخدم في تيسير المياه هو الزيوليت التركيببي ، وعلى مدى السنوات الثلاثين التالية كانت كل مبادلات الكاتيونات التي استخدمت ، من الزيوليت التركيبي أو من المعادن السيلكونية الأخرى ، أو المنتجات المعدنية التي تشبه الزيوليت في خواصها ، وترسخت بقوة عبارات مثل : زيوليت ، وجهاز تيسير الماء بالزيوليت ، وطريقة الزيوليت في التطبيق العملي ، وفي الكتابات التقنية . وهناك عبارتان أخريتان دخلتا الاستخدام الشائع بالارتباط مع هذه الطريقة هما : التبادل القاعدي ، التي تستخدم لوصف التفاعلات ، والماء بعسرة صفر ، أو وهو الأشيع الماء صفر ، لوصف الصبيب الناتج بهذه الطريقة .

وبناء على ذلك ، كان كلما يتم إدخال مبادلات جديدة للكاتيونات ، لا هي بالزيوليت ولا بالنواتج المعدنية السيلكونية ، تصبح معروفة في الاستخدام الشائع بوصفها زيوليتات . وقصارى القول إن جميع زيوليتات الصوديوم والمعادن الأخرى السيلكونية ، التي تحمل خواص تبادل كاتيونات الصوديوم هذه ،هي بوضوح مبادلات كاتيونات الصوديوم ، ولكن ليست كل مبادلات كاتيونات الصوديوم زيوليت ، ولا هي بالضرورة من طبيعة معدنية سيلكونية . وفي الواقع إن مبادلات الكاتيونات التي تستخدم على نطاق واسع هذه الأيام ليست زيوليتات ، ولا هي من طبيعة معدنية ، بل هي مركبات عضوية مسلفنة ، يمكن استخدامها ليس فقط على حلقة الصوديوم ، بل أيضاً على حلقة الهيدروجين .

جاء الاسم زيوليت من كلمتين إغريقيتين (zein + lithos) ، وتعنيان حجر الغليان Boiling . وأول من استخدم هذا الاسم هو كرونستد cronstedt الجيولوجي السويدي في عام 1756 على صنف معين من المعادن الطبيعية التي

تتضخم عند ما تسخن بقوة وتخرج ماءها مميأ أو متحداً على شكل بخار .وهناك نماذج لهذه الزيوليتات الطبيعية في الجدول 15.1. وهذه الزيوليتات كما نرى من صيغها سيليكات مميأه مضاعفة ، تتألف من مادة قلوية أو أكسيد ترابي قلوي ، وألومينا ، وسيليكا وماء والنسب فيها هي: مول mole واحد من المادة القلوية أو الأكسيد الترابي القلوي ، ومول واحد من الألومينا ، و2 . 10 مولاً من السيليكا ، و 2 . 6 مولاً من الماء .

وبعد 60 سنة من عمل كرونشتد (1818) اكتشف فوش Fuchs الكيميائي الألماني أنه عند ما تمزج محاليل ألومينات الصوديوم ، وسيليكات الصوديوم ، تتشكل رسابة لا تحتوي فقط على الألومينا والسيليكا ، بل على صودا متحدة . وبمعنى آخر ينتج زيوليت صوديوم تركيبي . وبعد 27 سنة (1845) ، راح ثومبسون Thompson الإنكليزي يفكر بسبب عدم انجراف المخصبات من التربة عند سقوط مطر شديد لأول مرة بعد استخدامها ، فأعد مرشحاً من تربة حديقة عامة ، وصب من خلاله محلول سماد حيواني . ولشد ما أدهشه أن تزيل التربة الأمونيا تماماً من المحلول فأستدعي الكيميائي سبنس Spence ، الذي اكتشف أنه في حين أزيل أساس هو الأمونيوم من التربة ، دخل إليها كمية مكافئة من أساس آخر هو الكلسيوم . أما وأنه لم يدرك على نحو واضح أهمية اكتشافه لتبادل الأساس (يعرف الآن بشكل صحيح وأفضل بوصفه تبادل كاتيونات) ، لم يربط ثومبسون الحادثة إلا بعد ثلاث سنوات وكان مستمعوه ، هما السيران هوكستابل Huxtable وثوماس وايThomasway ، الكيميائي في الجمعية الزراعية في إنكلترا .

قام واي بدراسة شاملة عام 1850 و1852 واستنتج أن خواص التربة في تبديل الأساس ، تعزى إلى محتواها البسيط من الزيوليت . لم يستطيع طبعاً أن يعزل كمية الزيوليت من التربة ولا أن يعين مداها ، مع ذلك قام بواسطة تركيب

فوش ، بإعداد مسحوق سيليكات مضاعفة ، فأبدت خواص تبادل الأساس . وظن واي أن هذه الخواص غير عكوسة وكان باتاً في رأيه ، إلى الحد الذي لم يقم معه بإجراء أية تجارب ليتأكد من أنها عكوسة أو غير عكوسة .

وبعد ست سنوات (1885) أثبت الدكتور آيخهورن Eihhorm ، وهو كيميائي ألماني ، أن خواص الزيوليت عكوسة في تبادل الأساس . وعمل آيخهورن بالزيوليت الطبيعي ، النتروليت Natrolite والشابازيت Chabazite، واكتشف إمكانية تبدل زيوليت الصوديوم إلى زيوليت الكلسيوم ، عن طريق تركه ببساطة على تماس مع محلول ملح الكلسيوم ، وأن زيوليت الكلسيوم المتشكل على هذا النحو يمكن أن يتبدل ليعود إلى زيوليت صوديوم ، بتركه يستقر على تماس مع محلول ملح الصوديوم . وعندئذٍ تمت دراسة هذه التفاعلات لتبادل الأساس من قبل جمهرة من الباحثين من أشهرهم لامبرغ Lemberg . وباستثناء التجربة الفاشلة التي قام بها هارمز Harms ورمبلر Bumpler لاستخلاص البوتاس من عصارة الشمندر السكري ، لم تستخدم عملياً تفاعلات التبادل حتى مطلع القرن العشرين .

الجدول 1. 15 صيغ سبع من الزيوليتات الطبيعية .

ثومسونيت $(Na_2O, CaO)\ Al_2O_3.2SiO_2.2\ 1/_2\ H_2O$
نتروليت $Na_2O, Al_2O_3.3SiO_2.H_2O$
لومونيت $CaO.Al_2O_3.5SiO_2.4H_2O$
هرموتوم $(BaO, K_2O).Al_2O3.5SiO_2.5H_2O$
ستلبيت $(Na_2O, CaO).Al_2O_3.6SiO_2.6H_2O$
بروسنيريت $(BaO,SrO,CaO).Al_2O_3.6SiO_2.5H_2O$
بتيلوليت $(CaO, K_2O,Na_2O).Al_2O_310SiO_2.5H_2O$

واكتشف روبرت غانز Robert Gans ، وهو كيميائي ألماني ، عام 1905 أنه يمكن استخدام الزيوليت لتيسير المياه العسرة ، وابتكر طرقاً لتركيب الزيوليت ،

وصمم معداتها ، كجهاز تيسير الماء بالزيوليت ، الذي استخدمت فيه وأعد أول الزيوليتات التجارية بطريقة الصهر من الكاؤولين والرمل ، ورماد الصودا . وصار الزيوليت يصنع فيما بعد بالطرق السائلة ، أي بتشكيل رواسب جيلاتينية أو هلامات جامدة من محاليل ألومينات الصوديوم وسيليكات الصوديوم، أو من مزائج من هذه مع كبريتات الألومنيوم ، ثم يعرض إلى عملية تجفيف جزئي ثم يترك يتفقع بغمسه في الماء ، وبعد ذلك يغربل بالحجم المطلوب . وبعدئذٍ دخل الرمل الخضراوي المستقر Stabilized greensand ميدان الاستخدام ، ومع أن قدرته كانت أقل من قدرة الزيوليت التركيبي (نموذج المعالجة السائلة) كان مادة فظة جداً ، سريعة التفاعلات ، يمكن استخدامها مع المياه الحاملة للحديد و/ أو المنغنيز ، ويحمل القدرة نفسها بخصوص عسرة المغنيزيوم كما لعسرة الكلسيوم ، وكان فعالاً جداً في استهلاك الملح. ومن هنا أصبح الرمل الخضراوي المستقر يستخدم على نطاق واسع على مدى 20 سنة كمبادل للكاتيونات في الاستخدامات الصناعية والبلدية ، بينما كان الزيوليت التركيبي بالمعالجة السائلة أوسع استخداماً للأغراض المنزلية .

وفي عام 1935 طورت نماذج جديدة كلياً من مبادلات الكاتيونات . التي استرعت الاهتمام في كونها يمكن استخدامها ، ليس فقط في حلقة الصوديوم عند التجديد بالملح ، بل أيضاً في حلقة الهيدروجين عند تجديدها بحمض ما ، وكانت هذه أول خطوة أدت إلى الاستخدام الواسع لطرق نزع المعادن بتبادل الأيونات . وكانت إحدى المجموعات من مبادلات الكاتيونات هذه ، هي النموذج الكربوني التي أعدت بسلفنة الفحم ، والثانية ، هي المجموعة الراتينية التركيبية المسلفنة . قاد العمل الأخير إلى تطوير عدد من مبادلات الكاتيونات الأخرى عن طريق سلفنة الراتيني ، منها نموذج الستايرين المسلفن من الراتينات (يعدّ عن طريق سلفنة الراتين الذي ينتج على شكل كريات بواسطة البلمرة المشتركة للستايرين وثنائي فنيل

البنـزين) ، التـي ولـدها د أليليـو D,Alelio لاقـت هـذه المبـادلات انتشـاراً واسـعاً بسـبب قـدرتها العاليـة ، إذا تبلـغ تسـعة أضـعاف قـدرة الرمـل الخضـراوي القياسـي ، وارتفاع معدل جريان التشغيل فيها ، فهو أعلـى منـه في الرمل الخضراوي بمقدار 60 % وتوفيرها في استهلاك الملح . وكان نجاح طريقة تبادل كاتيونات الصـوديوم سريعاً ، لأنها وفرت إمكانية تيسير الماء بشكل كامل ، وببساطة ، وتوفير ، وللمرة الأولـى فـي التاريخ . وكانـت درجـة التيسير التـي أنجزت مـن الكمـال بحيث أطلقت علـى المياه الميسرة فيهـا تسـمية (الميـاه زيـرو) (أي ميـاه بعسـرة صـفر) . أدى استخدام هذه الطريقة في معامل النسيج ، ومغاسل الملابس ، والصـناعات الأخرى ، حيـث تكـون عمليـات الغسـل والتنظيـف مهمـة إلـى تـوفير مـن 20 ـ 75 % مـن كميـات الصـابون والمنظفـات الأخرى المسـتخدمة وأمنـت البضـائع النهائيـة بنوعيـة ممتازة وأعطت ربحاً يتراوح من 50 إلى ما يزيد عن 100 % سنوياً من رأس المال الموظـف فـي المعدات . ومـن الواضـح أيضـاً ، أن الصـبيب الـذي كـان خاليـاً مـن العسـرة، لا يشـكل قشـرة فـي المراجـل البخاريـة، أو أجهـزة تسـخين المـاء ، أو شـبكة الميـاه الحـار أو المعـدات المائيـة المغلفـة . وبسـبب مـن هـذه الفوائـد والبسـاطة المفرطـة فـي التشـغيل ، يستخدم علـى نطـاق واسـع جداً جهـاز تيسير المـاء بمبـادل كاتيونـات الصـوديوم (زيوليت) ويقدر أن أكثر من مليون نموذج منـه تستخدم فـي الولايات المتحدة في المصانع والفنادق ، والمشافي ، والمباني العامة ،و البلديات ، الـخ (انظـر الجـدول 1 ـ 5 فـي الفصـل الخـامس الـذي يحتـوي علـى إدراج جزئـي لمئـات الأصـناف مـن المسـتخدمين) ، مـع اسـتخدامات أكثـر بـآلاف الأصـناف فـي بقيـة أنحـاء العالم وهـو أيضـاً النمـوذج الوحيد لجهـاز تيسير المـاء للاسـتخدام المنزلـي وهو استخدام واسع جداً إلـى الحد الـذي يقدر معـه عدد الوحدات البيتيـة العاملـة فـي الولايات المتحدة بأربعة ملايين تقريباً .

وكما لاحظنا سابقاً أصبحت عبارات زيوليت ، وطريقة الزيوليت ، والتبادل القاعدي ، الخ ، راسخة بقوة في التطبيق العملي ، وفي الكتابات التقنية ، التي يمكن اعتبارها من وجهة النظر العملية كمرادف لعبارات مقبولة أكثر مثل مبادل الكاتيونات وطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وتبادل الكاتيونات الخ ، ويمكن أن نضيف أيضاً ، أن عبارات مثل زيوليت من نموذج الراتين ، وزيوليت النموذج الكربوني ، قد أصبحت شائعة الاستعمال ، ولكن بما أن مبادل كاتيونات صوديوم ما، تحت اسم آخر ، سوف ييسر الماء تماماً أيضاً ، فإن تسميته بالزيوليت ليست مهمة ، لأنه بعد كل شيء سيعمل مثل الزيوليت حتى لو كان لا يشبهه في تركيبه .

مبادئ التشغيل الرئيسية : Principles of Operation

عندما يعبر الماء العسر سريراً لمبادل كاتيونات الصوديوم من النموذج الحبيبي أو الكروي ، يلتقط الكلسيوم والمغنزيوم ، ويحتجز من قبل مبادل الكاتيونات الذي يطلق في الوقت نفسه ، كمية مكافئة من الصوديوم بدلاً منها . وباستخدام الرمز R لجذر مبادل الكاتيونات ، يمكن توضيح التفاعلات كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix} (HCO_3)_2 \\ SO_4 \\ Cl_2 \end{matrix}\right. + 2NaR \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\}R_2 + Na_2\left\{\begin{matrix} (HCO_3)_2 \\ SO_4 \\ CL_2 \end{matrix}\right.$$

ذواب   غير ذواب   غير ذواب   ذواب

عندما تستنزف قدرة سرير مبادل الكاتيونات لإنتاج مياه كاملة التيسير ، تفصل وحدة الميسر من العمل موقتاً ، ويغسل السرير رجوعياً لتنظيفه ، ويعاد ترتيبه هيدرولياً ، ويجدد بمحلول الملح العادي (كلور الصوديوم) الذي يزيل الكلسيوم والمغنزيوم على شكل كلوريدات ذوابة ، ويعيد في الوقت نفسه مبادل الكاتيونات إلى حالته الصوديومية ، ويشطف لتخليصه من هذه النواتج الثانوية

الذوابة وزيادة الملح، وعندئذٍ تعاد الوحدة إلى الخدمة ، وهي جاهزة لتيسير حجم آخر مماثل من المياه العسرة . يمكن توضيح تفاعلات التجديد كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} R_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} Cl$$

ذواب غير ذواب ذواب غير ذواب

الأسرة العمودية : Columnar Beds

يمكن تحويل مبادل كاتيونات الصوديوم بشكل كامل إلى مبادل كاتيونات كلسيوم (أو مغنيزيوم) ، وتحويل مبادل كاتيونات الكلسيوم (أو المغنيزيوم) بشكل كامل إلى مبادل كاتيونات صوديوم ، كما في التفاعلات أعلاه ، ولكن لا يجري ذلك في التطبيق العملي لأنه :

(1) لا ينتج أثناء شوط التيسير مياه ميسرة بصورة كاملة .

(2) يحدث تبديد شديد للملح أثناء التجديد .

وبدلاً من ذلك :

(1) يوقف شوط التيسير قبل ظهور العسرة في الصبيب .

(2) يتم تجديده بكمية مقاسة من الملح لإعطاء قدرة محددة سلفاً بكلفة اقتصادية

وفي ظل ظروف تشغيل كهذه ، لا يستنزف مبادل الكاتيونات أبداً أثناء شوط التيسير ، ولا يجدد أبداً بصورة كاملة . ويبقى مبادل الكاتيونات المستنزف محتوياً على بعض الصوديوم ، ومبادل الكاتيونات ، المجدد على بعض الكلسيوم والمغنزيوم . علاوة على ذلك إذا اختبرنا السرير المستنزف لمبادل الكاتيونات فسوف نجد أن الجزء العلوي من السرير يحتوي من الكلسيوم والمغنزيوم أكثر بكثير من الصوديوم ، بينما يحتوي الجزء السفلي منه على صوديوم أكثر من المغنيزيوم والكلسيوم ، وبمعنى آخر نحتاج لإزالة آخر أثر للعسرة من الماء إلى مبادل

كاتيونات تكون فيه نسبة الصوديوم إلى الكلسيوم والمغنزيوم أعلى مما تكون عليه لإزالة حجم العسرة . وهذا هو السبب الذي يستدعي عند إنتاج فعال لمياه كاملة التيسير استخدام مبادل الكاتيونات على شكل سرير ذي ثخانة كافية لإنتاج النوع المرغوب من المياه . وفي الأجهزة التجارية لتيسير الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم ، يكون العمق الأصغري (الثخانة) للسرير عادة 2 قدماً ، وقلما تجاوز العمق الأعظمي 7,5 قدماً مع مبادلات الكاتيونات من القدرة الأدنى.

إزالة الكلسيوم والمغنيزيوم والحديد والمنغنيز :

تحمل مبادلات الكاتيونات ألفة أو قدرة امتصاصية للكاتيونات الثنائية التكافؤ ، أقوى منها للكاتيونات الأحادية التكافؤ . ولذلك عندما يتلامس الماء العسر ، الذي هو طبعاً بصورة رئيسية ، محلول مخفف جداً ، مؤلف من أملاح الكلسيوم والمغنزيوم والصوديوم مع مبادل كاتيونات الصوديوم يلتقط مبادل الكاتيونات:كاتيونات الكلسيوم والمغنزيوم الثنائية التكافؤ ويطلق في الوقت نفسه كميات الصوديوم الأحادية التكافؤ بدلاً منها ، وتجري التفاعلات المتوازنة مع بيكربونات وكبريتات وكلوريدات الكلسيوم والمغنزيوم كما يلي :

$$2NaR + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaR_2 + 2NaHCO_3$$
$$2NaR + Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgR_2 + 2NaHCO_3$$
$$2NaR + CaCO_4 \rightarrow CaR_2 + Na_2SO_4$$
$$2NaR + MgSO_4 \rightarrow MgR_2 + Na_2SO_4$$
$$2NaR + MgCl_2 \rightarrow MgR_2 + 2NaCl$$

يمكن إزالة الحديد و/ أو المنغنيز من المياه العسرة التي تحتوي على بيكربونات الحديدي و/ أو البيكربونات المنغنيزية بواسطة مبادل كاتيونات الصوديوم ، وإزالة العسرة في الوقت نفسه . (انظر الفصل 14 ، من أجل معلومات مفصلة على هذا ونماذج مبادلات الكاتيونات المناسبة لهذا الاستخدام).

وفيما يلي التفاعلات المشتركة :

$$2NaR + Fe(HCO_3)_2 \rightarrow FeR_2 + 2NaHCO_3$$

$$2NaR + Mn(HCO_3)_2 \rightarrow MnR_2 + 2Na\ HCO_3$$

ملاحظة :

تزداد القدرة الامتصاصية لكلا الكاتيونات ثنائية وأحادية التكافؤ في المحاليل المائية مع ازدياد الوزن الذري ، حتى بالنسبة لقلويات الترابية $Ba^{++} > Sr^{++} > Ca^{++} > Mg^{++}$ ، ومن أجل المعادن القلوية والأمونيا $Cs^{+} > Rb^{+} > NH_4^{+} > Na^{+} > Li^{+}$. والقدرة الامتصاصية من أجل الكاتيونات الثلاثية التكافؤ أكبر من أجل الكاتيونات ثنائية التكافؤ ، ولكن الكاتيونات الثلاثية التكافؤ لا دخل لها في تيسير الماء بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (يوجد الحديد أو المنغنيز الذواب دائماً في الشكل الثنائي التكافؤ في المياه التي تحتوي على قلوية البيكربونات) . ومن الواضح أيضاً أنه بقدر ما يتعلق الأمر بتيسير الماء وتجديد مبادل الكاتيونات تكون الأيونات الرئيسية المشتركة هي : Ca^{++} ، وMg^{++} وNa^{+} ، وبدرجة أقل K^{+} ، وNH_4^{+} ، و Fe^{++} ، وقد تكون Mn^{++} ذات أهمية أيضاً .

نوعية الصبيب : Quality of effluent

إذا احتوت المياه العسرة ، التي نريد تيسيرها ، على مالا يزيد عن 499 ppm (29.1غ / جالون) من أملاح الكلسيوم والمغنزيوم والصوديوم (معبراً عن الجميع (كـ $CaCO_3$) ، فسوف نجد أن الصبيب من جهاز تيسير الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم يحتوي على معدل ثمالة عسرة لا يزيد عن 2 ppm (0.1غ / جالون) ، وهو ما يفسر عبارة (ماء بعسرة صفر) (أو ماء صفر) التي تستخدم على نطاق واسع لوصف الصبيب الناتج بطرق التيسير الأخرى ، كطريقة الجير البارد صودا ، طريقة الجير الحار صودا . ولكن إذا كانت محتويات الماء الخام من الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم ضعف الرقم أعلاه ، فسيكون معدل ثمالات العسرة في الصبيب حوالي 20 ppm ، وإذا كان محتوى هذه الأملاح بمقدار أربعة أضعاف ذلك الرقم ، فستكون العسرة الثمالية حوالي 40 ppm تتراوح هذه العسرة بالنسبة للمياه التي تحتوي على كلسيوم ومغنيزيوم وصوديوم حتى تصل إلى 1999 ppm (116.6 غ / جالون) .

وقد أدرجت في الجدول 2 . 15 .

الجدول 2−15 صبيب مبادل كاتيونات الصوديوم

Total Cations in Raw Water in $CaCO_3$ Equivalents		Hardness Residuals		Soap Tests at End of Run in Drops of B and B Soap Solution	
		Average during run	Maximum at end of run		
(in ppm)	(in gpg)	(in ppm)	(in ppm)	(per 40 ml)	(per 20 ml)
0– 499	0.00– 29.11	2	5	5	3
500– 599	29.23– 34.95	8	17	9	5
600– 699	35.00– 40.78	11	20	10	5
700– 799	40.84– 46.61	14	23	11	6
800– 899	46.67– 52.45	17	26	12	6
900– 999	52.51– 58.28	20	29	13	7
1000–1099	58.34– 64.11	22	31	14	7
1100–1199	64.17– 69.95	24	33	15	8
1200–1299	70.01– 75.28	26	35	15	8
1300–1399	75.84– 81.62	28	37	16	8
1400–1499	81.68– 87.45	30	39	17	9
1500–1599	87.51– 93.29	32	41	18	9
1600–1699	93.34– 99.12	34	43	18	9
1700–1799	99.18–104.9	36	45	19	10
1800–1899	105.0 –110.8	38	47	20	10
1900–1999	110.9 –116.6	40	50	21	11

التجديد : Regeneration :

الملح العادي (كلور الصوديوم NaCl) هو المادة التي تستخدم على نطاق واسع لتجديد سرير مبادل الكاتيونات المستنزف . وتكمن فائدة الملح لهذا الغرض في كونه رخيصاً . بما أن النواتج المتشكلة في هذه التفاعلات وخصوصاً كلوريدات الكلسيوم والمغنيزيوم ، تحمل وزناً جزئياً خفيفاً وذوبانية عالية ، لذلك يمكن شطفها بسهولة من سرير الزيوليت . ونترات الصوديوم أيضاً مادة ممتازة للتجديد ، لكن وزنها الجزيئي أعلى ، وهي أكثر كلفة . وتنطبق الاعتراضات نفسها على كلوريد ونترات البوتاسيوم . تحمل كبريتات الصوديوم عند استخدامها كمادة تجديد ، بعض المساوئ منها تشكيل كبريتات الكلسيوم ذات الذوبانية المحددة ، ولذلك يجب استخدامها على شكل محلول ضعيف بما يكفي لتفادي حدوث هذا الراسب .

ملاحظة :

تستخدم نترات الصوديوم في منطقة إنتاجها في جبال الأنديز لتجديد أسرّة تيسير الماء ، التي تستخدم لتيسير مياه تغذية المراجل في أعمال النترات لأنها كثيرة ورخيصة ، بينما يتوجب شحن كلور الصوديوم وبالتالي يكون أكثر كثافة ومنذ سنوات مضت كان كلور البوتاسيوم ، يستخدم في الصين لتجديد أسرة تيسير الماء ، نظراً للضرائب الباهظة التي كانت مفروضة على الملح العادي ، وبناء عليه كان كلور البوتاسيوم أقل كلفة .

وفيما يلي التفاعلات المتوازنة لإزالة الكلسيوم والمغنزيوم من مبادل الكاتيونات عند نهاية شوط التيسير:

$$CaR_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + CaCl_2$$
$$MgR_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + MgCl_2$$

عندما يكون الحديد و/ أو المنغنيز قد أزيل أثناء شوط التيسير ، تحدث إزالتهما من مبادل الكاتيونات في الوقت نفسه ، مع إزالة الكلسيوم والمغنزيوم أثناء التجديد ، وفيما يلي التفاعلات المتوازنة :

$$FeR_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + FeCl_2$$
$$MnR_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + MnCl_2$$

التجديد بمياه البحر أو المياه الحبيسة أو المياه الملحية الطبيعية :

يمكن تجديد مبادلات الكاتيونات بمياه البحر بدلاً من تجديدها بالملح التجاري. فهي تحمل التركيب المقارب المبين في الجدول 3 ـ 15 الذي يدرج المقومات الرئيسية . ففي الأرقام المذكورة ، يكون إجمالي الأملاح في مياه البحر 3.5 % ، وكلور الصوديوم 2.7 % فحيثما توفرت مياه البحر ، وكمية الماء التي نريد تيسيرها بما يكفي لتبرير استخدامها ، يكون تيسير الماء في منشأة مبادل كاتيونات الصوديوم الذي يجدد بمياه البحر ، هو الطريقة الأرخص التي يمكن استخدامها .

الجدول 3 . 15 تحليل يظهر المقومات الرئيسية (يختلف إجمالي الملوحة في مختلف المحيطات إلى حد ما ولكن النسب النسبية للأملاح هي نفسها في جميع المحيطات)

المقومات	ppm	غ / جالون

إجمالي العسرة ($CaCO_3$)	6464	377
كلسيوم ($CaCO_3$)	1049	61
مغنيزيوم ($CaCO_3$)	5415	316
القلوية ($CaCO_3$)	124	7
الكلوريدات (Cl)	19324	1128
الكبريتات (SO_4)	2696	157
الصوديوم (Na)	10722	626
البوتاسيوم (K)	382	22

وبما أن كلور الصوديوم يشكل في مياه البحر فقط حوالي 77 % من إجمالي محتوى الأملاح (تتألف الـ 23% الأخرى بصورة رئيسية من أملاح المغنيزيوم والكلسيوم) ، فستكون القدرات المتحصلة من مبادلات الكاتيونات المتجددة بمياه البحر أقل بكثير مما لو أجري التجديد بالملح التجاري . وبصورة عامة تتراوح قدرات مختلف نماذج مبادلات الكاتيونات عندما تجدد بمياه البحر من أقل بقليل من 50 % إلى ما يقرب من 60 % من طاقاتها الطبيعية عند تجديدها بالأملاح التجارية .

يمكن أيضاً استخدام المياه الحبيسة (البحار الحفرية) ، أو المياه الملحية الأخرى الطبيعية ، إذا كان تركيبها مناسباً لتجديد أسرة التيسير بمبادل الكاتيونات وعموماً يجب أن تكون المواصفات كما يلي : الملوحة 3 % أو أكثر ، ولا تقل نسبة الكلوريدات الموجودة على شكل Cl إلى إجمالي العسرة الموجودة على شكل $CaCO_3$ عن 3 ، و إن تكون المياه الملحية شفافة وخالية من كبريت الهيدروجين أو المواد الأخرى المؤذية .

العسرة المعادَلة : Compensated Hardness

في التطبيق العملي ، تقوم قدرة ميسر الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم على أساس (العسرة المعادَلة) للماء الذي نريد تيسره ، وهي عسرة قد تكون أولا تكون كالعسرة الحقيقة ويمكن تحديد ذلك بالقواعد التالية :

1. إذ كان إجمالي العسرة معبراً عنه $CaCO_3$ لا يتجاوز 400 ppm أو إذا كانت أملاح الصوديوم معبراً عنها كـ $CaCO_3$ ، لا تزيد عن 100 ppm عندئذٍ تكون المعادلة مطلوبة .

2 . إذا كان إجمالي العسرة ، أو أملاح الصوديوم أكثر من الأرقام السابقة ، عندئذٍ تحسب العسرة المعادلة كـ أجزاء في المليون من $CaCO_3$ ، من إجمالي العسرة كأجزاء من مليون من $CaCO_3$ وإجمالي الكاتيونات بأجزاء من مليون كـ $CaCO_3$ وكما يلي :

العسرة المعادلة = إجمالي العسرة ×9000 ÷ (9000 _ إجمالي الكاتيونات)

3. تحول العسرة المعادلة من أجزاء في المليون إلى غ / جالون عن طريق ضربها بـ 0.05834

مبادلات كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)

Sodium Cation Exchangers (Zeolites)

كما ذكرنا سابقاً ، كان أول مبادل للكاتيونات يستخدم في تيسير الماء ، هو الزيوليت التركيبي ، وفي السنوات الثلاثين التي تلت استخدمت مبادلات الكاتيونات من الزيوليت التركيبي أو من المنتجات المعدنية السيليكونية ، التي تحمل خواص مبادل الكاتيونات نفسها . وبعدئذٍ ، وكما لاحظنا سابقاً أيضاً ، اكتشف أن بعض المركبات العضوية ، وخصوصاً الراتينات المسلفنة والفحم المسلفن تحمل خواص الكاتيونات المهمة ، وأنها يمكن استخدامها أيضاً في حلقة الصوديوم أو حلقة للهيدروجين . وفي المادة التالية من هذا الفصل سوف نسمي مبادلات الكاتيونات المعدنية السيليكونية كزيوليت للدلالة على طبيعتها السيليكونية

1 . الزيوليتات من نموذج الانصهار : Fusion - Type Zeolites

تم إعداد أول الزيوليتات التجارية بطريقة الصهر من معادن كالطين والرمل ورماد الصودا . وبعدئذٍ تصب الصهارة فوق صفائح معدنية لكي تبرد وتتصلد . ومن ثم تطحن وتنخل إلى الحجم المطلوب وتمياً بالماء ، الذي يعمل أيضاً على غسل النواتج الثانوية وإذابتها . كانت قدرتها 4.5 كغ / قدم^3 . وبما أنها كانت بطيئة إلى حد ما في تفاعلاتها سواء أثناء شوط التيسير أو أثناء التجديد ، استبدلت فيما بعد بزيوليتات أخرى ، وخصوصاً نماذج الرمل الخضراوي والجل التركيبي التي هي أسرع بكثير في تفاعلاتها .

2 . الزيوليتات من نموذج الجل : Gel - Type Zeolites Gel

النماذج الجلّية من الزيوليتات هي سيليكات ألومينو الصوديوم وتعدّ من :

(1) محاليل سيليكات الصوديوم ، وكبريتات الألمنيوم ، وألومينات الصوديوم .

(2) محاليل سيليكات الصوديوم وكبريتات الألومنيوم .

(3) محاليل سيليكات الصوديوم وألومينات الصوديوم .

ويتراوح التركيب اعتماداً على المقومات المستخدمة والنسب التي تمزج فيها من $Na_2O\text{-}Al_2O_3.5SiO_2$ إلى $Na_2O.Al_2O_3.13SiO_2$ وتحتوي أيضاً على ماء الإماهة ، الذي يختلف إلى حد ما في كميته ، لكن ربما يتراوح من 3 ـ 5 مول .

ملاحظة :

في معادن الزيوليت الطبيعية ، التي أعطيت ، ذكرنا صيغها في بداية هذا الفصل ، يتراوح تركيبها من 1مول من المادة القلوية أو أكسيد القلوي الترابي إلى 1 مول من الألومينا إلى 2. 10 مول من SiO_2 وعلى الرغم من الاقتباس المتكررة في الكتابات إلى ظاهرة أن الزيوليتات التجارية من نموذج الجل هي : $Na_2O.Al_2O_3.2SiO_2$ أو $Na_2O.Al_2O_3.2SiO_2$ ، فإنه لا يستخدم زيوليت تجاري ناجح لتيسير الماء ومحتواه من SiO_2 أقل من 5 مول ، بل يحتوي معظمها على 6 ، ويتراوح قليل منها إلى 13 . أعدت بعض الزيوليتات من نموذج الجل ، التي احتوت على معدن حمضي قلوي في تركيبها غير الألومنيوم . والزيوليت الوحيد الذي استخدم تجارياً هو زيوليت الحديد ، وتوقف تصنيعه منذ سنوات ، لأن قدرته لم تكن عالية كقدرة زيوليت سيليكات ألومنيو الصوديوم . وفيما يتعلق بالقدرات ، فإن القدرة

لعسرة المغنيزيوم المكافئة ليست عالية (75 %) كقدرة عسرة الكلسيوم . مع ذلك فإن التقديرات الواردة ، هي من أجل شوط ماء عادي ، يحتوي على عسرة الكلسيوم والمغنزيوم .

عند تصنيع الزيوليتات من نموذج الجل يتم تحضير المحاليل مخففة وتمزج في نسب يستقر معها المزيج السائلي في فترة موجهة من الزمن (من 2 . 30 دقيقة عادة) لتشكيل جلّ غرواني ، يمكن أن يحتل كامل الحجم ، أو يمكنه بالانكماش أن يعتصر بعض الماء وعندئذٍ يجفف بعض أنواع الجل مباشرة ، بينما يرشح بعضها الآخر بالضغط ثم يجفف .

يحول التجفيف هذه المادة الغروانية العكوسة إلى مادة لا عكوسة ويجب إجراء التجفيف ببطء وحذر شديدين لأن درجة الحرارة العالية أو فقدان الماء بدرجة كبيرة سيؤثر بشكل خطر على قدرة التبادل . يخضع الجل إلى انكماش هائل أثناء التجفيف ويخرج من أجهزة التجفيف ، على شكل كتل قرنية صلبة بيضاء . وبعدئذٍ تلقى هذه الكتل في الماء ، الذي يدخل المسام فوق المجهرية ، ويسبب ضغطاً داخلياً بحيث (تتفرقع) الكتل إلى جزيئات حبيبية ، يكون أكثر في حجم يصلح للاستعمال . تنخل الجزيئات الأخشن ، وتسحق إلى الحجم المطلوب . ويفضل إزالة الدقائق بالنخل السائل ، والتصنيف الهيدرولي . وفي العادة تسحق الزيوليتات المنتهية رطبة في أسطوانات ليفية . وقد أدرجت خصائصها في الجدول 5 ـ 15 زيوليتات الجل سريعة التأثير ، إن في شوط التيسير و إن في التجديد . وهي في الاستخدامات الصناعية المتواصلة ملائمة للمياه العسرة ، اللاعكرة الخالية من الحديد ، وبقيم مناسبة للـ PH . والحدود المقترحة من أجل عمر أطول في الاستخدام الصناعي هي: العسرة فوق 170 ppm (10غ / جالون) ويفضل أن تكون العكارة أدنى من 5 ppm ، ولكن مع المياه العسرة جداً ترتفع حتى 10 ppm ، لا يجب أن يكون الحديد في المحلول أكثر من 0.3 ppm ، و أن تكون قيم الـ PH بين 6.9 و 8.3

3 . زيوليتات الرمل الخضراوي Greensand Zeolites

تعدّ زيوليتات الرمل الخضراوي بإعادة تصفية واستقرار الرمل الخضراوي المنجمي ، واسمه الجيولوجي الصحيح هو غلوكونيت Glauconite ، من كلمة غلوكوز الإغريقية Glaukos ، ومعناها (الرمل المزرقّ bluish green) . يتألف الفلزّ في الطبيعية من حبيبات صغيرة عنقودية أو مدورة ، قطرها بحدود $1/_{10}$ إنشاً . والحبيبات الغراونية هي التي يمكن تسميتها بطين الغلوكونيت Glauconitic Clay ، الضعيف الربط إلى حد ما ، بحيث يمكن قصه بسهولة بالرفش ، وعند معالجته يتفكك متباعداً إلى قوام رملي . وعندما يجف يكون لونه أخضر رمادياً ، ويصبح أسود عند تبليليه . وهو مختلف التركيب إلى حد ما ، ويتألف أساساً من كمية بسيطة من أيون قابل للمبادلة ، متحداً مع البوتاس ، والمغنسيا والحديد الثنائي والثلاثي التكافؤ والألومنيا ، والسيليكا وماء الإماهة .

ملاحظة :

لوحظ أنه يمكن توضيح الاختلافات في التركيب الكيميائي للغلوكونيت إذا كان مزيجاً متماثل الأجزاء من جزأين انتهائيين بالصيغتين :

$$(A)\ 2H_2O \cdot K_2O \cdot 2(MgO \cdot FeO) \cdot 2(Fe\ O3 \cdot Al_2O_3) \cdot 10SiO_2 + 3H_2O$$

$$(B)\ 2H_2O \cdot KO_2 \cdot (MgO"FeO) \cdot 3(Fe_2\ O_3 \cdot Al_2O_3) \cdot 10SiO_2 + 3H_2O$$

والغلوكونيت راسب بحري ، اكتشف قيد التشكل على امتداد شواطيء القارات على عمق 300 قدماً إلى 2 ميلاً . والغلوكونيت المستخدم عملياً في صناعة نماذج الزيوليتات من الرمل الخضراوي هو بكامله من رواسب تشكلت خلال العصر الطباشيري . ولجعل الرمل الخضراوي صالحاً للاستعمال في تيسير المياه يجب فصله عن الطين ودقيق الخامات المعدنية والجزئيات الكبيرة وجعله يستقر . وفي وحدة المعالجة تغسل المادة أولاً بواسطة غربال أسطواني دوار يطرح الجزئيات الخشنة وتصل هذه الجزئيات عادة إلى 1 – 1.5 % وتتألف في أكثرها

من قطع من حجر الحديد ، وحبيبات كبيرة الحجم ، وبعض النفايات القوقعية والمستحاثات أحياناً , والخطوة التالية هي الغسل بالماء البارد الذي يزيل معظم الطين والدقائق المعدنية وتنجز هذه الخطوة والخطوات التالية في معدات تصنيف ، تساعد الأمشاط فيها على تكسير الحبيبات غير السليمة وإزالتها . وبعد الغسل بالماء البارد ، يغمر الرمل الخضراوي في محلول الصودا الكاوية الساخن ، الذي يحول آخر آثار الطين إلى سائل شبه غروي ويزيله . ومن هذا الخطوة وما بعد يمكن جعل المادة المغسولة والمصنعة تستقر مباشرة عن طريق معالجتها بمادة كيماوية أو بالتسخين ، أو معالجتها بحيث تكتسب قدرة تبادلية أعلى وجعلها بعد ذلك تستقر . ففي الحالة الأولى يمكن معالجة المعدن بمحاليل كبريتات الألمنيوم وسيليكات الصوديوم ، أو بكلور المغنيزيوم وسيليكات الصوديوم وتجفيفها من ثم في فرن , وفي الحالة الثانية يحمص المعدن أولاً في جو مختزل ثم يتم تليينها في محلول الصودا الكاوية ، وتترك تستقر بالمعالجة بمحاليل سيليكات الصوديوم وكبريتات الألومنيوم . يحمل الرمل الخضراوي العالي القدرة , قدرة أكبر بـ 80 % من قدرة الرمل الخضراوي القياسي (5 كغ / قدم^3 مقارنة بـ 2.8 كغ / قدم^3) ، لكنه ليس مثله ديمومة .

عندما أدخل نموذج الزيوليت من الرمل الخضراوي القياسي لأول مرة ، كان تأثيره على صناعة تيسير الماء هائلاً ، لأنه وبسبب من السرعة الكبيرة لتبادل الكاتيونات في شوط التيسير وفي التجديد ، وتوفيره في استهلاك الملح ، وديمومته وقدراته المتساوية بخصوص عسرة الكلسيوم والمغنزيوم ، بسّط التشغيل ، وخفض تكاليف التيسير ، وجعل استخدام المصانع العالية المرونة ممكناً ، ولهذه الأسباب انتشر استخدامه على نطاق واسع وعلى مدى سنوات كثيرة في الميدان الصناعي . أما في المنازل فكان استخدامه غير مؤات بسبب قدرته المنخفضة نسبياً لأنه مع المياه العسرة جداً يجب استخدام وحدات أكبر قطراً لإعطاء قدرة أسبوع إلى

أسبوعين الأمر الذي يحتاج إلى معدلات غسل راجع أعلى مما يمكن الحصول عليه بواسطة الحجوم العادية من خطوط و مقاييس الإمداد . ويبين الجدول 4 . 15 خصائص كل من الرمل الخضرواي القياسي والرمل الخضراوي العالي القدرة

مبادلات الكاتيونات الكربونية :

Carbonaceous Cation Exchangers

تصنع مبادلات الكاتيونات الكربونية عن طريق سلفنة الفحم بعد سحنه ونخله. بإدخال المجموعات السلفونية إلى المركبات العضوية المركبة الموجودة في الفحم ، والتي تضفي عليها قدراتها في تبادل الكاتيونات . وتوجد أيضاً بعض مجموعات الكربوكسيل ، وعلى الرغم من ضآلة أهميتها في حلقة الصوديوم ، إلا أنها مهمة في إزالة البيكربونات من حلقة الهيدروجين .

بعد اكتمال السلفنة يغسل الحمض الزائد ، وتزال آخر آثاره عن طريق المعالجة بيكربونات الصوديوم التي تحول المادة أيضاً إلى حالة صوديومية . وبعدئذٍ تجفف المادة وتنخل إلى حجم معين ، وتعبأ للنقل وعند استخدامه في حلقة الصوديوم يتميز مبادل الكاتيونات الكربونية بعدد من الفوائد على الزيوليتات السيليكونية إحداها أنه يبعد احتمال التقاط السيليكا ، والأخرى أنه يمكن تنظيفه بسهولة باستخدام حمض ما ، إذا ما غطته كربونات الكلسيوم (كما يحدث أحياناً عندما لا يكون الصبيب بعد سرير التيسير متوازناً كيميائياً) .

ملاحظة :

قد تستخدم الحموض المخففة أحياناً مع مبادلات الأيونات من نموذج الرمل الخضراوي لحل طبقات الكلسيوم . وعند إجراء هذه المعالجة يفضل دائماً استخدام حمض الخل المخفف أكثر من حمض معدني مخفف جداً ، لأن المعالجة لاستقرار الزيوليت ضرورية أيضاً في الحالة الثانية . يمكن استخدام حمض معدني دون الإضرار بمبادلات الكاتيونات من النماذج الكربوني أو الراتينية . ولكن الحمض المستخدم يجب أن يكون مثبطاً لتخفيف تأثيره على شبكة الأنابيب والتركيبات المعدنية .

لا تتضرر مبادلات الكاتيونات الكربونية بانخفاض PH الماء بغض النظر عن مدى ذلك الانخفاض ، ويمكن استخدامها مع مياه تكون قيمة الـPH فيها حوالي 9.5 ، شريطة أن لا يكون دليل لانغيليه

مرتفعاً جداً ، إلى الحد الذي تترسب $CaCO_3$. وكالرمل الخضراوي المستقر ، يمكن استخدام مبادلات الكاتيونات الكربونية مع المياه الحاملة للحديد ، لأن الحدود العادية هي نفسها كما مع الرمل الخضراوي المستقر ، أي أقصى محتوى للحديد معبراً عنه كـ Fe ، هو 10 ppm لمياه بعسرة 20غ / جالون (340 ppm) أو أكثر ، و5 ppm لعسرة 10غ / جالون (170 ppm) ، و 2.5 ppm لعسرة 5غ / جالون (85 ppm) . أدرجت خصائص نماذج الزيوليت الكربونية في الجدول 4 . 15

مبادلات الكاتيونات الراتينية العديدة الستيرين العالية القدرة

High - Capacity Polystyrene Resin Cation Exchangers

تستخدم مبادلات الكاتيونات الراتينية العديد الستيرين المسلفنة على نطاق واسع في حلقة الصوديوم وحلقة الهيدروجين . وتحمل قدرة عالية جداً وكما يظهر في الجدول 4 ـ 15 تزيد قدرتها عند استخدامها في حلقة الصوديوم مع استهلاك للملح 3 أضعاف قدرة الزيوليت التركيبي من نموذج الجلّ وتقريباً على 6 أضعاف قدرة الرمل الخضراوي العالي القدرة ، وعلى 10 أضعاف قدرة الرمل الخضراوي القياسي . ومعدلات جريان تشغيلها أيضاً في شوط التيسير أعلى بمقدار 3 مرات ما هي عليه في الزيوليت التركيبي من نموذج الجلّ ، وأعلى ب 60 % ممل هو عليه في الرمل الخضراوي القياسي . إضافة إلى ذلك يمكن استخدام طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم بالاقتران مع طريقة الجير الساخن ، لأنها لا تتأذى بالمياه الحارة ذات الـPH العالية كما يحصل في طرق تيسير الماء الساخن .

انظر(طريقة الجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم) في الفصل 19 .

تعد مبادلات الكاتيونات هذه عن طريق البلمرة المشتركة للستيرين وثاني أكسيد فنيل البنزين تليها السلفنة . وبإجراء عملية البلمرة ، مع التحريك في مغطس سائل ، ينتج الراتين على شكل حبات كروية صغيرة الحجم (شبكة 16 ـ 50 ميش) اللازم للاستخدام في طرق تبادل الكاتيونات . وعندئذٍ تغسل هذه الحبات ، وتجفف ، وتسلفن بمعالجتها بحمض الكبريت وبعدئذٍ تغسل زيادة الحمض ، وتعادل

آخر آثاره بمحلول كربونات الصوديوم ، الذي يحوّل أيضاً مبادل الكاتيونات من حالة الهيدروجين إلى حالة الصوديوم .

وهنا يغسل مبادل الكاتيونات ، ويصفى ، وينقل رطباً ، برطوبة تتراوح عادة بين 45 . 55 % وبوزن يصل على حوالي 53 ليبرة / قدم^3 .ويفضل نقل المادة بحالة رطبة لأن الحبات إذا جففت فسوف تنتفخ بشكل ملحوظ عندما تتلامس مع الماء . وقدرات التبادل فيها تقوم أيضاً على أساس المادة الرطبة بالكغ / قدم^3 .

عندما يوجد الحديد و/ أو المنغنيز على شكل بيكربونات ثنائية التكافؤ ، يمكن إزالته ، في وقت واحد مع العسرة بهذه النماذج الراتينية العديدة الستيرين العالية القدرة لمبادلات كاتيونات الصوديوم والكميات التي يمكن إزالتها بهذه الطريقة أعلى منها في النماذج الأخرى من مبادلات الكاتيونات انظر (إزالة الحديد بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم) و (إزالة المنغنيز بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم) في الفصل 14 .

لا يتضرر هذا النموذج من مبادل الكاتيونات حتى بالماء المعالجة بالكلور بشدة تقريباً ، ويمكن استخدامه مع المياه الحارة درجة 250 فهرنهايت ، كما يمكنه الصمود لقيم PH مرتفعة حتى 11 ، بشرط أن يكون دليل **لانغليبه** سلبياً ، وبما أنه يمكن استخدامه في حلقة الهيدروجين فإنه لا يتضرر بقيم PH المنخفضة في الماء . يصل معدل الجريان المستخدم معه في شوط التيسير إلى 8 جالون / د / قدم^2 عادة وعند تجديد إحدى المجموعات يمكن استخدام معدل جريان مقداره 10جالون / د / قدم^2 في الوحدة أو الوحدات الأخرى يبلغ معدل الغسل الراجع عادة 5 جالون /د/قدم^2 عندما تكون درجة الحرارة بين 50˚ . 100˚ ف ، و 4 / جالون / د /قدم^2 عندما تكون دون 50˚ ف ، وحتى 12 جالون / د / قدم^2 عندما تكون فوق درجة الغليان تقريباً ، كما عندما يستخدم بالاقتران بطريقة الجير الساخن .

الجدول 4 – 15المبادلات الصوديومية الكاتيونية

Sodium Cation Exchangers	Screen Size (mesh)	Sh. Weights (lb/cu ft)	Color	Salt Consumptions		Capacities (kgr/cu ft)
				(lb/kgr)	(lb/cu ft)	
High-capacity polystyrene resin	16–50	53	amber	0.5 0.45 0.40 0.35 0.30 0.275	13.5 11.7 10.0 8.4 6.6 5.5	27 26 25 24 22 20
Carbonaceous	16–50	24–30	black	0.45 0.40 0.375 0.35	3.15 2.68 2.37 2.10	7 6.7 6.3 6
Synthetic zeolite (gel type)	16–50	54	white or yellowish white	0.5 0.45 0.4	5 4.05 3.2	10 9 8
Greensand, high capacity	16–50	80	black	0.5 0.45 0.4	2.75 2.25 1.76	5.5 5 4.4
Greensand, standard	16–50	85	green	0.5 0.45 0.4	1.5 1.26 0.96	3 2.8 2.4

يُدرج في الجدول 5 ـ 15 خصائص حجم النخل ، والأوزان في القدم المكعب واللون ، واستهلاك الملح بالباوندات في الكغ ، والباوندات في القدم المكعب ، والقدرات المتماثلة في الـ كغ / قدم^3 لمختلف استهلاك الملح . وفيما يتعلق بمعدلات الجريان فإن المعدلات التي وردت آنفاً للنموذج الراتيني المتعدد الستيرين والعالي القدرة ، بما فيها معدل الغسل الراجع بالماء الحار ، الذي لا يمكن تطبيقه طبعاً على النماذج الأخرى من مبادلات الكاتيونات ، لأنها لا تستخدم بالاقتران مع طريقة الجير الساخن . وباختصار إن معدل جريان شوط التيسير العادي لكلا النموذجين ، مبادل الزيوليتات الكربونية والتركيبية (نموذج الجل) هو 6 جالون / د / قدم^2. مع معدل أقصى يصل إلى 8 جالون / د / قدم^2 عندما تكون إحدى الوحدات خارج الخدمة للتجديد . والأرقام المطابقة لنماذج الرمل الخضراوي هي 5 جالون / د / قدم^2 , والأقصى هو 6 جالون / د / قدم^2 ومعدلات الغسل الراجع 6

جالون / د / قدم^2 لكلا النموذجين ، و 7 جالون / د / قدم^2 للزيوليت التركيبي من نموذج الجل .

ميسرات الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)

Sodium Cation Exchanger (Zeolite) Water Softeners

تصنع ميسرات الماء بمبادلة كاتيونات الصوديوم (زيوليت) في نموذجين : الضغطي ، والثقالة ، وكلا النموذجين موجودان في تصاميم آلية ، ونصف آلية ويدوية . وكلها تعمل وفقاً للمبادئ نفسها لحلقة تتألف من شوط تيسير وتجديد . في شوط التيسير يتم تيسير الماء عن طريق جريانه عبر سرير لمبادل كاتيونات الصوديوم ، الذي يزيل ويحتجز الكلسيوم والمغنزيوم ، ويتخلى عن كمية مكافئة من الصوديوم بدلاً منها .

ويتألف التجديد من ثلاث مراحل :

(1) الغسل الراجع , و (2) الإشباع بمحلول ملحي شديد ، و(3) الشطف .

ينجز الغسل الراجع بدفع دفق مائي قوي صعوداً من خلال سرير مبادل الكاتيونات ، يعمل على تجديد السرير وتنظيفه ، وإعادة تصنيفه هيدرولياً . وفي إضافة الملح أو الإشباع بمحلول ملحي شديد ، تمرر كمية من محلول شديد الملوحة عبر سرير مبادل الكاتيونات فتتفاعل معه لإزالة الكلسيوم والمغنزيوم ، وتعيد الصوديوم إليه . والشطف لغرض إزالة كلوريدات الكلسيوم والمغنزيوم ، والصوديوم من السرير . وبما أن أكثر ميسرات الماء بتبادل كاتيونات الصوديوم ، هي من نموذج الضغطي للجريان النازل (والقليل من المنشآت هي من نموذج الثقالة) لذا سوف نأتي على وصف تصميم وتشغيل النموذج الضغطي أولاً .

البناء والتوابع : Construction and Accessories

الأغلفة : Shells

يتألف غلاف الميسر من النموذج الضغطي من اسطوانة فولاذية ذات رؤوس مقعرة إلى نصف قطر يساوي قطر الميسر ، وثخانات معدنية يمكنها الصمود لأي ضغط تدعو الحاجة إليه يتراوح القطر في الميسرات من النموذج الضغطي العمودي الواسع الانتشار من حوالي 20 إلى 10 إنش , والأخير من أكبر الأغلفة التي صنعت ، ويمكن شحنه بالسكة الحديدية . وفي قليل من الحالات كما عند الشحن بواسطة المياه استخدمت وحدات بأقطار أكبر تصل إلى 14 قدماً . أقيمت أيضاً وحدات أفقية بقطر 9 و 10 قدماً وطول يصل إلى 25 قدماً ولكن بما أن الزيوليت عند انتفاخه على الجوانب والأطراف لا يستخدم بالطاقة القصوى ، فنحتاج بالتالي إلى تقديرات أدنى بمقدار 10 % مما هي عليه في النماذج العمودية ، لذلك قلما تستخدم الوحدات الأفقية هذه الأيام .

شبكات التصريف السفلية Under drain System

في قاع غلاف الميسر ، هناك شبكة للتصريف التحتي ، تعمل على جمع المياه الميسرة خلال شوط التيسر ، وتوزع ماء الغسل الراجع أثناء عملية الغسل وتزيل الملح وماء الشطف أثناء عمليتي التمليح والشطف ومن الواضح ، أن تشغيل شبكة التصريف هذه ضروري أثناء شوط التيسير بحيث تجمع الماء الميسر النازل بالتساوي من كافة أجزاء السرير . وأثناء عملية الغسل الراجع ، يجب أن تعمل الشبكة على توزيع ماء الغسل بحيث يتدفق صعوداً بالتساوي عبر أجزاء السرير . وبخلاف ذلك قد تحث أقنية تسبب مع مرور الوقت تلالاً حصوية في طبقات الحصى الداعمة ، وتحشو أجزاء من السرير ، وتنخفض القدرات ، وقد ينقلب السرير ، ونخسر مبادل الكاتيونات وفي عمليتي الإشباع بمحلول ملحي والشطف ، يجب أن تضمن الشبكة تفريغاً متساوياً للمحلول الملحي ومياه الشطف وان لا تسمح بتشكل الجيوب من كليها .

تختلف شبكات التصريف التحتية في التصميم ، لكنها في الحجوم الصناعية للوحدات من النماذج الأكثر استخداماً هي من النموذج اللوحي الحارف ونموذج المجرى الجانبي . في النموذج الأول يركب لوح حارف مصمم خصيصاً في قاع غلاف الميسر بحيث تكون حافته السفلي حول كامل محيطه مفصولة بفرجة محددة عن التلامس مع الرأس الأسفل للميسر . وفي نموذج المجرى الجانبي ، يزود المجرى والجوانب عادة برؤوس مصاف ذات بعد متساو ، وتستخدم حشوة داعمة تحتية من الكونكريت ، وتحقن إلى الطرف السفلي من رؤوس المصافي .

الحصى والرمل Gravel and sand :

توضع فوق شبكة التصريف طبقات من الحصى المتدرج الأخشن في الأسفل والأنعم في الأعلى) ، تعلوها عادة طبقة من الرمل الخشن ، وتستخدم لتدعيم السرير الفوقي لمبادل الكاتيونات ، وللمساعدة في جمع الماء النازل بشكل منتظم ، سواء كان ملحياً أو ماء شطف ، و في توزيع ماء الغسل الراجع صعوداً على نحو متساو أثناء العمليات المتتابعة . نموذجياً تحتاج الشبكة الرئيسية الجانبية إلى :

6 إنشاً من الحصى المتوسط ($1/_4 \times 1/_2$ إنشاً) .

و 3 إنشاً من الحصى الناعم ($1/_8 \times 1/_4$ إنشاً) .

و 3 إنشاً من الرمل الخشن (الحجم الفعال من 0.8 . 1.2 مم) .

وتحتاج الشبكة اللوحية الحارفة نمطياً حوالي :

1 إنشاً من الحصى الثقيل ($1. \; 1\,^1/_2$ إنشا) .

و 3 إنشاً من الحصى الخشن ($^1/_2 \times 1$ إنشاً) .

و 3 إنشاً من الحصى المتوسط ($^1/_4 \times {}^1/_2$ إنشاً) .

و 3 إنشاً من الحصى الناعم ($^1/_8 \times {}^1/_4$ إنشاً) .

و 3 إنشاً من الرمل الخشن (الحجم الفعال 0.8 . 1.2 مم) .

لا يستخدم الرمل مع الرمل الخضراوي والزيوليتات التركيبية ، وتكون الطبقة العليا عادة 6 إنشاً من الرمل الناعم ($1/8 \times 1/4$ إنشاً) .

سرير مبادل الكاتيونات Cation Exchanger Bed :

يوضع سرير مبادل الكاتيونات فوق أعلى طبقة من الرمل (أو الحصى الناعم) لطبقات المادة الداعمة ، ويكون عادة في الحجوم الصناعية لميسرات الماء أقل من 2 قدماً ، وقلما تتجاوز 8.5 قدماً في الثخانة . وعندما يستوي السرير ويتدرج هيدرولياً عن طريق عمليات الغسل الراجع ، تكون أخشن الجزئيات في أسفل السرير وأنعمها في أعلاه ، مما يضمن وجود مقاومة منتظمة ، وبناء عليه جرياناً منتظماً للماء في السرير . فوق السرير فرجة شطف بحيث يمكن لسرير مبادل الكاتيونات أن يتوسع بالغسل الراجع ، وهكذا تتباعد الجزئيات ، وتحرر أية مادة غير ذوابة قد يجمعها السرير ، أثناء شوط التيسير يعبر عن فرجة التوسع هذه كنسبة مئوية من ثخانة السرير ، وتختلف مع مختلف الأنماط من مبادلات الكاتيونات ، وتكون 25% في نماذج الرمل الخضراوي ، و33% في نموذج الزيوليت التركيبي ، و75 في كلا نموذجي الراتين والكربون العالي القدرة .

مجمعَّ مياه الغسل Wash-Water Collector :

في الجزء الأعلى من الغلاف تحت القمة بقليل من الجانب المستقيم للغلاف ، هناك مجمع لمياه الغسل ، وهو نظام معترض يعمل ، أثناء التيسير والشطف ، على إدخال وحرف الماء الداخل ، وأثناء الغسل الراجع على جمع مياه الغسل وتوصيلها إلى شبكة الصرف . حرف الماء الداخل ضروري ، وإلا قد يجوّف جزءاً من القسم العلوي لسرير الزيوليت ، ويسبب جرياناً أكبر ، بسبب المقاومة الأضعف خلال هذا الجزء من السرير منها خلال الأجزاء الأخرى منه

شبكة توزيع المياه المالحة Brine Distributing System :

على مسافة قصيرة فوق سطح سرير الزيوليت تقع شبكة توزيع المياه المالحة التي تعمل على إدخال المياه المالحة ، وتوزيعها بشكل منتظم فوق سرير الزيوليت بحيث تكون كل الأجزاء على تماس منتظم معه .

ملاحظة :

بتجربة ، أدخل فيها عدداً من الأنابيب النحاسية الصغيرة في مختلف المواضع من سرير الزيوليت ، وتمّ سحب عينات من هذه المواضع تحت الضغط أثناء كامل عملية التمليح . وعند معايرة الكلوريدات ، اكتشف أن الاعتقاد السابق بانتشار المحلول الملحي بالتساوي عند اصطدامه بسطح سرير الزيوليت كان خطأ . واكتشف بدلاً من ذلك ، أن المحلول الملحي ، يميل إلى الجريان عبر السرير على شكل مخروط مقطوع ، وبالتالي لا يتجدد بالتساوي الجزء العلوي من سرير الزيوليت خصوصاً ولذلك جرى تصميم الموزع لتوزيع المحلول المالح بانتظام فوق كامل سطح السرير ، ويوضع الموزع مباشرة فوق سطح السرير على مسافة قصيرة ، بحيث يتم تفادي حدوث تخفيف لا ضرورة له للمحلول الملحي وفرت هذه الوسيلة من 10 . 20 % من استهلاك الملح ،

بما أن الملح العادي ، كما يظهر في الجدول 5 . 15 ،لا يختلف إلا قليلاً في ذوبانيته خلال المديات العادية لدرجات الحرارة ، تم الاستغناء عن ضرورة وزن جرعات الملح . ويستخدم محلول مشبع من الملح يقاس حجمياً . وفي الأكثرية الساحقة من ميسرات المياه بالزيوليت الصناعي ، يحتجز المحلول الملحي المشبع ويخفف إلى التركيز المناسب ثم يدخل إلى الميسرات بواسطة قواذف هيدرولية ، تكون تراكيز المحاليل الملحية المخففة التي تصطدم بالأسرة في مختلف النماذج من مبادلات الكاتيونات حوالي 10 . 12 % مع نماذج الرمل الخضراوي والزيوليت التركيبي ، ومن 5 . 15 % مع النموذج الكربوني ، ومع النموذج الراتيني ذي القدرة العالية 15 . 18 % لأسرة 36 إنشاً ثخانة أو أقل ، ومن 15 . 25 % مع الأسرة فوق 36 إنشاً . عند توصيل المحلول الملحي إلى الميسر بواسطة مضخة بدلاً من القاذف يجب إعداد الزاد لتخفيفه إلى التركيز المناسب قبل دخوله إلى الميسر بواسطة خط إدخال الماء إلى خط التوصيل من المضخة .

صهاريج المحاليل الملحية وأحواض الملح السائل

Brine Tanks and Wet-Salt Storage Basins

في النماذج الملحية القديمة من ميسرات المياه بالزيوليت الصناعي يعمل صهريج المحول الملحي كمخزن للملح وكصهريج لقياس المحلول الملحي . وبالتالي كانت هذه الصهاريج كبيرة القطر نسبياً ، وكان السحب النازل في التجديد مسافة عمودية صغيرة نسبياً . يميلون في الوقت الحاضر إلى استخدام صهاريج منفصلة ، صهريج لتخزين الملح يتم فيه تشكيل المحول الملحي المشبع ، وصهريج لقياس المحلول الملحي ، ويكون هذا أصغر قطراً بحيث يستخدم سحباً نازلاً أكثر عمقاً ، مما يتيح دقة أكبر في القياس وكثيراً ما تستخدم في المصانع الكبيرة أحواض من الكونكريت لتخزين الملح السائل . وتتسع هذه الأحواض لحمولة عربة ونصف العربة من الملح أو أكثر ، وتسهل معالجة الملح ، لأنه يمكن إسقاطه فيها مباشرة ، وتساعد على شراء الملح بالجملة مقدراً بحمولة العربة ، وهو أقل كلفة من شرائه معبأ في أكياس ، وحيثما تستخدم أحواض الملح السائل ، يمكن ضخ المحلول الملحي على فترات :

(1) إلى صهريج القياس ومنه إلى الميسر بالطريقة العادية .

(2) عبر مقياس المحلول الذي يقيسه ويدخله بعد تخفيفه مباشرة إلى الميسر .

ملاحظة :

لا يستخدم صهريج المحلول الملحي مع بعض الميسرات ذات الحجوم الصغيرة ، بل يقاس الملح جافاً وإما أن : (1) يتم إدخاله مباشرة إلى الميسر عبر فتحة للمعالجة أو (2) يوضع في وعاء صغير للملح أو حجرة حلّ ، ثم يجرف إلى الميسر بواسطة تيار من الماء .

يتضمن الجدول 5 . 15 الأصناف ، وحاويات النقل ، ومدى الأوزان بالقدم الكعب ومتطلبات حيز التخزين ، وذؤوبيات الملح من °32 . °68 فهرنهايت ، والمكافئات المقبولة لتراكيز المحاليل الملحية المستخدمة في صناعة تيسير الماء.

الجدول 5 . 15 جدول الملح والمحاليل الملحية : على أساس الملح التجاري الذي يحتوي على مالا يقل عن 98 % من NaCl .

Grades Used	Shipped in	(lb/cu ft)	(cu ft/ton)	Solubility (pts/100 pts water)			
				(32°F)	(50° F)	(68° F)	(86° F)
Rock Evaporated	bags barrels bulk	50–70	29–40	35.7	35.8	36.0	36.3
		Rock salts are heavier and nearer upper limit in lb/cu ft than evaporated salts.					

1 جالوناً من المحلول الملحي يحتوي على ما يقرب من 2.48 ليبره من الملح .

1 قدماً مكعباً من المحلول الملحي يحتوي ما يقرب على 18.5 ليبره من الملح .

باوندات الملح اللازم × 0.405 = عدد الجالونات من المحلول الملحي للسحب.

ملاحظة : عندما يسحب المحلول الملحي من صهاريج قياس الملح أو من جهاز الإشباع لا يجب أن يهبط إلى ما دون 23° بوميه .

التحكم بالغسل الراجع Back Wash Controls :

من الضروري إجراء الغسل الراجع بمعدل محدد للجريان لأن الانخفاض الكبير للمعدل يؤدي إلى حشو السرير ، وارتفاعه كثيراً يبدد مبادل الكاتيونات بجرفه نحو المصرف . يمكن التحكم بمعدل الغسل الراجع في الحجوم الصناعية من الميسرات عن طريق :

(1) صمام خانق ذو قرص بعوامة في خط تفريغ الغسل الراجع يحافظ على ضغط ثابت فوق لوح فتحة حوض التجميع .

(2) منظم الجريان من نموذج فنتوري الذي يعمل على مدخل الغسل الراجع .

التحكم بالشطف Rinse Controls

في ضبط معدل الشطف ، يستخدم على نطاق واسع نموذج الصمام الخانق ذي القرص الذي يشتغل بعوامة ، وكما ذكرنا سابقاً ، يكون هذا الصمام في خط تفريغ الشطف ، ويحافظ على ضبط ثابت فوق لوح ذي فتحة في المجمعٍّ . ويمكن استخدام اللوح نفسه لضبط معدل الغسل الراجع ومعدل الشطف باستخدام إما :

(1) مجموعتين من الفتحات ، إحداها فوق الأخرى وتستخدم كلتا المجموعتين للغسل الراجع .

(2) تشغل مجموعة فقط بضغط أعلى للغسل الراجع وبضغط أدنى للشطف .

العداد (المقياس) Meter :

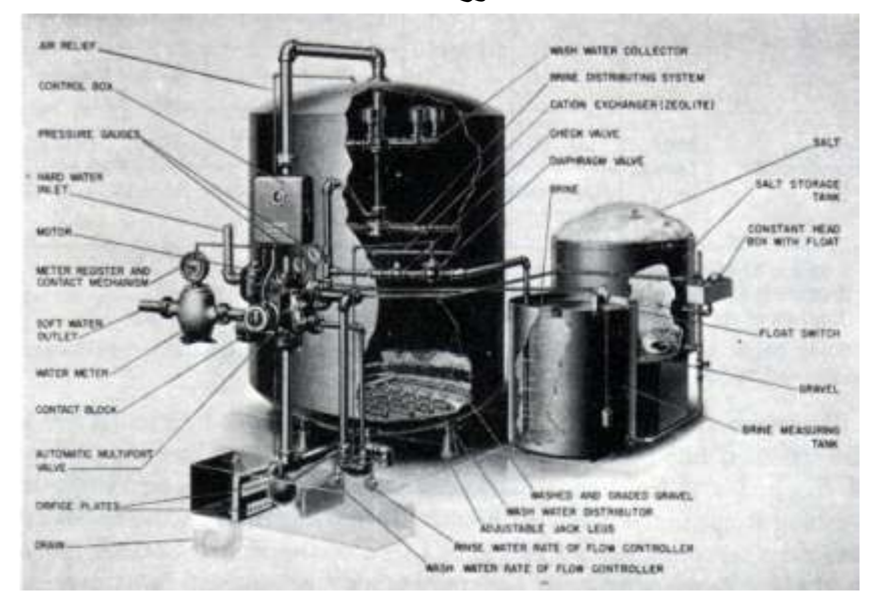
يستخدم عداد الماء على خط خروج الماء الميسر . ويجهز العداد في النموذج الآلي لميسرات الماء برأس تلامس لمباشرة التجديد الآلي والعودة إلى المقياس بعد شوط التيسير .أما في نموذج ميسرات الماء التي تشغل يدوياً تسحب قبضة المقياس إلى الخلف عادة على مدى شوط التيسير وعندما تصل القبضة إلى الصفر ، تحدث تماساً كهربائياً ، يسبب قرع جرس أو يطلق إشارة ومضية مرئية . يوضع في بعض المنشآت التي تشغل يدوياً عداد تأشير وتسجيل فوق خط الدخول إلى وحدة التيسير يعمل كدليل للعامل يشير إلى نسب عمليات التجديد

ميسرات الماء الآلية بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)

Automatic Sodium Cation Exchanger (Zeolite) Water Softeners

تمثل الصورة 1 . 15 رسماً توضيحياً للغسل في ميسر الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم من نموذج الضغط العمودي الكامل الآلية مع صهريج لقياس المحول الملحي وخزانه لتخزين الملح وتعمل هذه الآلة كما يلي :

الصورة 1 − 15

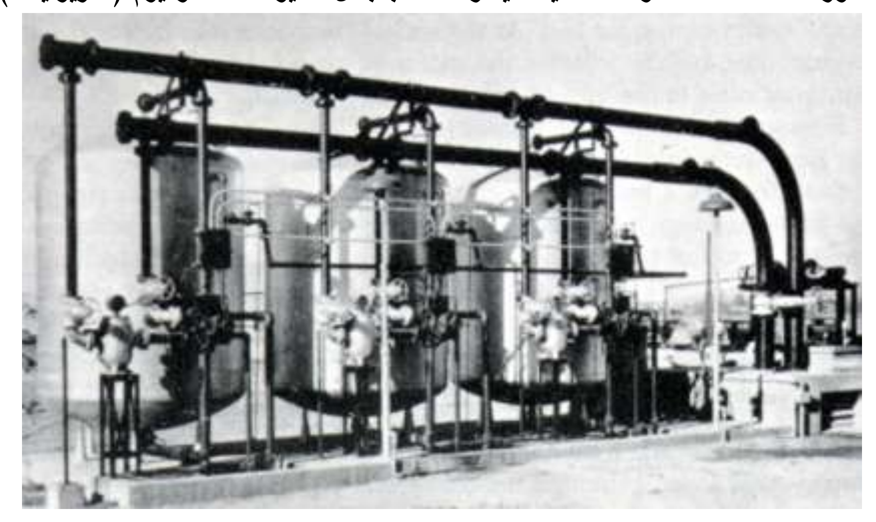


<u>شوط التيسير Softening Run :</u>

يعبر الماء العسر من مدخل الماء العسر ، الصمام الآلي المتعدد الفوهات وشبكة الأنابيب عبر غطاء غلاف الميسر ، ويدخل الميسر بواسطة مجمعٍ مياه الغسل ، الذي يحرف الجريان بحيث لا يرتطم مباشرة بسطح سرير مبادل الكاتيونات وبعدئذٍ يجري الماء الميسر بانتظام نزولاً عبر السرير . وأثناء ذلك ، تلتقط الكاتيونات التي تسبب العسرة وتحتجز في السرير الذي يحرر في الوقت نفسه ، إلى الماء كمية مكافئة من كاتيونات الصوديوم بدلاً منها . وعندئذٍ يعبر الماء الميسر الطبقات الداعمة من الحصى المتدرج ، عبر موزع ماء الغسل ، الذي يؤدي غرضاً مزدوجاً فهو أيضاً مجمعٌ للماء الميسر ، ومن خلال شبكة الوصل ، والصمام المتعدد الفوهات ، والعداد ، و إلى الخدمة . يزود العداد برأس تلامس كهربائي ، يبدأ العمل بعدد من الجالونات التي سيجري تيسيرها وعند ما تمر هذه

الجالونات عبر العداد ، تعود القبضة إلى الصفر ، محدثة تماساً كهربائياً، ويثبت تياراً يدير المحرك بحيث يشغّل هذا الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية الغسل .

الصورة 2 – 15 ثلاث وحدات آلية لتيسر الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت)



الغسل الراجع Back washing :

في وضعية الغسل , يوجه الصمام الآلي المتعدد الفوهات الماء من مدخل الماء العسر عبر شبكة الوصل إلى موزع الغسل . وعند خروجه من الموزع ، يرتفع ماء الغسل الراجع عبر الطبقات الداعمة من الحصى وسرير مبادل الكاتيونات الذي يتوسع ، فيغسل ، وينظف وبعدئذٍ يمر الماء عبر مجمعٍ ماء الغسل ، وشبكة الأنابيب ، والصمام المتعدد الفوهات ، ومفتاح ضبط معدل الجريان ، الذي يفرغه إلى مجمع سفلي ، حيث يجري عبر فتحات في الألواح ذات الفتحات . تقوم العوامة المربوطة إلى مفتاح ضبط معدل جريان ماء الغسل بتشغيل الصمام الخانق ذي القرص بحيث تتم المحافظة على ضغط منتظم مقرر سلفاً فوق عدد معين من الفتحات وبذلك تتم المحافظة على جريان منتظم بمعدل محدد . يضبط زمن عملية الغسل الراجع (حوالي 10 دقائق عادة) بمفتاح توقيت كهربائي في علبة الضبط . تعمل عملية الغسل الراجع هذه على رفع ، وفصل ، وتنظيف ،

وإعادة تصنيف حبيبات سرير مبادل الكاتيونات هيدرولياً . وعند انتهاء فترة الغسل الراجع ، يقوم مفتاح التوقيت الكهربائي بتشغيل المحرك ، بحيث يدير هذا الصمام الآلي المتعدد الفوهات إلى وضع التجديد .

التجديد (الإشباع بالملح أو بالمحلول الملحي)

Regeneration (Salting or Brining)

في وضعية التجديد ، يوجه الماء من مدخل الماء العسر بواسطة الصمام الآلي المتعدد الفوهات ، بحيث يجري عبر قاذف هيدرولي (يظهر في شبكة الأنابيب إلى يمين مقياس الضغط) وشبكة أنابيب الوصل إلى شبكة توزيع المحلول الملحي في غطاء الميسر . وعندما يجري الماء عبر القاذف الهيدرولي ، يكوّن مصّاً على الخط المؤدي إلى صهريج قياس المحلول المالح ، وينفتح الصمام الزّقي في هذا الخط ليسمح بدخول المحلول الملحي إلى القاذف . والمحلول الملحي المستخدم هو محلول مشبع بالملح العادي (كلور الصوديوم) ، الذي يتشكل من زيادة الملح في صهريج تخزين الملح ، والذي يرفع بحيث يرتشح منه المحلول الملحي المشبع (المتشكل فيه من الماء الداخل إلى الملح من علبة الضغط الثابت المزود بصمام ذي عوامة) ببطء شديد عبر شبكة الوصل إلى صهريج قياس المحلول الملحي ، الذي يمتلئ إلى مستوى محكوم بعلبة الضغط الثابت بالصمام ذي العوامة .

يزود صهريج قياس المحلول المالح بمجموعة مفاتيح تعمل بعوامة بحيث يحدث ، عندما يسحب الحجم الصحيح من المحلول الملحي ، تماس يشغل المحرك لتدوير الصمام الآلي المتعدد الفوهات إلى وضعية الشطف ويعمل هذا بدوره على غلق الصمام الزّقي في الخط الذي يقود إلى صهريج قياس المحلول الملحي . وعندما يدخل المحلول الملحي إلى القاذف الهيدرولي ، يخفف إلى أي تركيز نريده في نموذج مبادل كاتيونات الصوديوم المستخدم . يدخل هذا المحلول الملحي

المخفف إلى شبكة التوزيع ، فتقوم بتوزيعه بانتظام إلى مسافة قصيرة فوق سطح سرير مبادل الكاتيونات . وبعدئذٍ يعبر السرير نازلاً وطبقات الحصى الداعمة ، وموزع ماء الغسل ، وشبكة الوصل إلى الصمام الآلي المتعدد الفوهات ، الذي يوجهه إلى خط مفتاح ضبط جريان مياه الشطف ، فيفرغه هذا إلى مجمعٍ سفلي . عندما يمر المحلول الملحي نزولاً عبر سرير مبادل الكاتيونات ، يتفاعل مع مبادل الكاتيونات ، فيزيل الكلسيوم والمغنزيوم على شكل كلوريدات ، ويستبدلها في الوقت نفسه بكمية مكافئة من الصوديوم .

الشطف Rinsing :

في وضعية الشطف ، يعمل الصمام الآلي المتعدد الفوهات على توجيه الماء العسر من مدخله عبر شبكة الوصل إلى مجمعٍ ماء الغسل في غطاء الميسر ، ويجري منه نزولاً عبر سرير مبادل الكاتيونات والطبقات الداعمة من الحصى ، وموزع ماء الغسل ، والصمام الآلي المتعدد الفوهات ومفتاح ضبط معدل جريان ماء الشطف وإلى المجمعٍ السفلي . وبما أن معدل الجريان المستخدم في الشطف أقل بكثير من المعدل المستخدم في الغسل الراجع ، يتراوح من أقل من $1/_3$. $^1/_2$ معدل الغسل الراجع ، يعمل خط منفصل مع مفتاح ضبط معدل جريان ماء الشطف ، بواسطة صمام خانق ذي قرص يضبط بعوامة للمحافظة على ضغط مقرر سلفاً فوق مجموعة فتحات ، موجودة عادة في اللوح الأسفل من الألواح ذات الفتحات . يتم التحكم بفترة الشطف بمفتاح توقيت كهربائي في علبة الضبط الذي يشغل بحيث تكون فترة الشطف كافية لغسل كلوريدات الكلسيوم والمغنيزيوم وزيادة الملح من الميسر .

ملاحظة : كما ذكرنا سابقاً تستخدم تنظيمات مختلفة من الألواح ذات الفتحات . في بعضها لوح ذي فتحة وتدار العمليات بحيث يستخدم ضغط عال أثناء الغسل الراجع ، وضغط واطئ عند الشطف . وعندما يستخدم لوحان أحدهما فوق الآخر ، تقضي الطريقة العادية باستخدام كلا اللوحين أثناء الغسل الراجع ، واللوح الأسفل فقط أثناء الشطف .

الإرجاع إلى العمل Returning To Service :

في نهاية فترة الشطف ، يثبت مفتاح التوقيت الكهربائي تياراً يشغّل المحرك ، وهذا يشغل بدوره الصمام الآلي المتعدد الفتحات إلى وضعية التيسير, في هذا الوقت تعيده أداة لوحة العداد وآلية التماس إلى شوط التيسير ، الذي بدأ عندما دار الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية التيسير .

ملاحظة :

هناك عدة فوائد للتشغيل الآلي لميسرات الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم . إحداهما ، هي استبعاد دخول الماء العسر إلى خطوط الماء الميسر عن طريق الغمر . وكثيراً ما يحدث هذا في الميسرات التي يشغّل يدوياً ، عندما يكون العامل خارج الخدمة ، أو مشغولاً بعمل آخر ، وبالتالي لا يكون موجوداً حال انتهاء شوط التيسير . والفائدة الأخرى ، وبالكاد يمكن التشديد كثيراً على أهميتها ، هي أن الميسر الآلي للماء ، يقوم بدقة بما أعد تماماً بالطريقة نفسها في كل مرة ، بينما يظهر عمال ميسرات التشغيل اليدوي غالباً أفكاراً غريبة عن كيفية تشغيل الميسرات ويلحون على تنفيذ هذه الأفكار . ومن هذه الأفكار ، واحدة واسعة الانتشار ، مفادها أن طالما لا يشاهد وسخ في صبيب الغسل الراجع أثناء الدقيقة أو الدقيقتين الأوليتين ، يكون الغسل الراجع إجراء غير ضروري كلياً . والفكرة الأخرى هي أن كمية المحلول الملحي في التجديد ، التي تحدد من قبل مصنِّع معدات التيسير ، تكون إما (1) قليلة جداً ، أو (2) كثيرة جداً ، بحيث يضع العامل الذي يعتقد بـ (إعطائها كمية كبيرة من الملح) من 20 إلى أكثر من 50 % من الملح اللازم ، في حين يقوم عامل آخر بـ (تجويع) الميسر وفوق ذلك من المدهش أن نجد كثيراً من العمال أسخياء في الشطف إلى الحد الذي يزيد معه عن الحاجة ، الأمر يبدد بعضاً من قدرة التيسير المفيدة للوحدة .

وهناك بعض الأهواء التي تتجاوز الظن . ففي أحد المصانع مثلاً اكتشف أن صبيب الميسر كان عسراً كالماء الخام وتبين عند البحث أن المصنع استخدم في يوم الذروة حوالي مليون جالوناً من الماء . وكانت طاقة وحدة الميسر المفردة هي 50000 جالوناً ، كما كان هناك صهريج مرتفع لتخزين الماء اليسر بقدرة 25000 جالوناً كان يمكن للعامل بهذا الترتيب ، أن يضمن مورداً مستمراً من الماء اليسر عن طريق التجديد كلما كان ذلك ضرورياً ، والتزود بالماء من صهريج التخزين هذا أثناء فترات التجديد ولكنه بدلاً من ذلك ، قام بتجديد الوحدة في آخر اليوم ، سواء استدعت الحاجة ذلك أم لا ، ورفع 25000 جالوناً إلى صهريج التخزين . وكان حال وصوله في الصباح ، يقوم بالتجديد أيضاً ، على الرغم من أنه لم تستخدم إلا نصف قدرة الميسر . وبعدئذٍ لا يقوم بعملية التجديد حتى نهاية اليوم ، وهكذا دخلت في أيام الذروة ، التي كانت تحدث مرتين أو ثلاثا في الأسبوع كمية 25000جالوناً من الماء العسر إلى خطوط الماء اليسر .

الفاحص الآلي للعسرة *Automatic Hardness Tester*

يمكن استخدام فاحص آلي للعسرة مع المياه ذات العسرة المتقلبة :

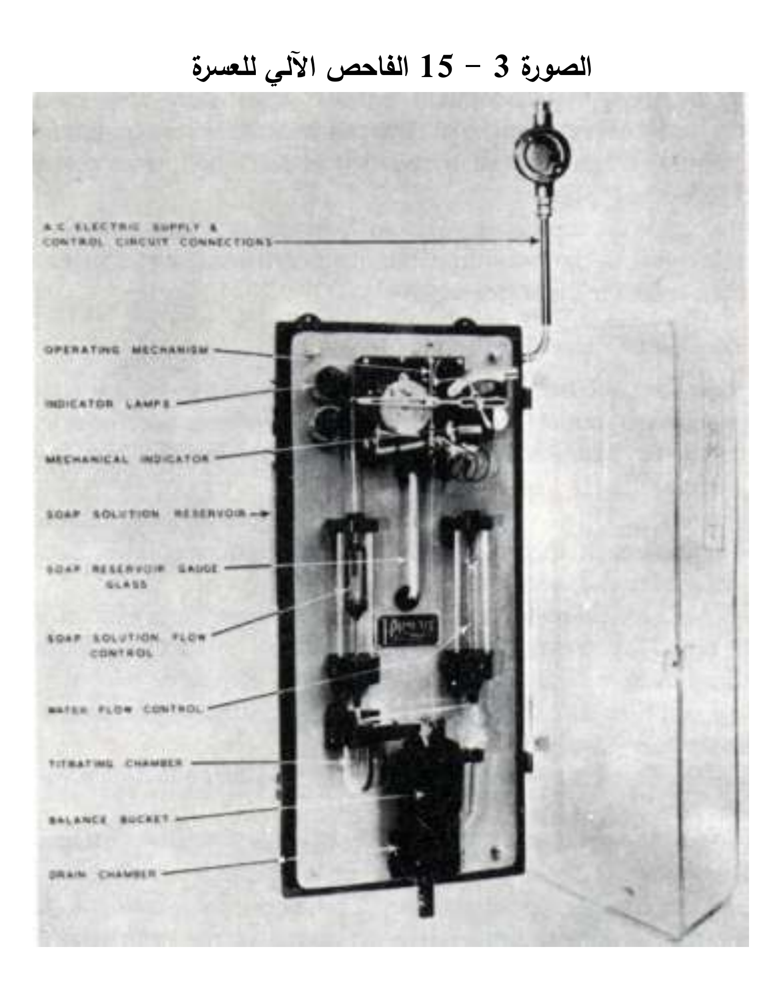
(1) مع ميسرات الماء الآلية للبدء بالتجديد حالما تظهر أية عسرة في الصبيب .

(2) مع الميسرات اليدوية ، إما لـ :

(أ) الدلالة على انتهاء شوط التيسير .

(ب) لإغلاق وحدة التيسير عند انتهاء الشوط .

الصورة 3 – 15 الفاحص الآلي للعسرة



يظهر فاحص العسرة الآلي في الصورة 3 ـ 15 وهو يعمل على مبدأ أن الجرعات الصغيرة من المحلول الصابوني ، التي تضاف إلى تيار بسيط جداً من الماء ، وتستنزف من خط صبيب الميسر وتهوى ، وسوف تشكل رغوة وافرة ، طالما كان تيسير الماء كاملاً ، ولكنها سوف لا تشكل مثل تلك الرغوة عندما يظهر أول قد ضئيل من العسرة في الصبيب .

التشغيل نصف الآلي Semi - Automatic Operation

هناك طريقة أخرى لمعالجة المياه التي تخضع لتبدلات مفاجئة في العسرة ، وتتضمن استخدام وحدات شبه آلية لتيسير المياه . وفي تشغيل هذا النموذج من الميسر ، يعيد العامل عند البدء بشوط التيسير قبضة العداد حتى تتطابق مع رقم الجالونات التي يراد تيسيرها وفقاً للعسرة المقاسة في المياه الخام . وعندما يمّر هذا الحجم عبر الميسر ، تحدث القبضة لدى رجوعها إلى الصفر ، تماساً يسبب قرع جرس أو إشارات ضوئية الإنذار . عندئذٍ يضغط العامل زراً كهربائياً للبدء بالعمليات اللازمة مع انتهاء شوط التيسير . وعندئذٍ تنجز آلياً عمليات الغسل الراجع والإشباع بمحلول ملحي ، والشطف والعودة إلى العمل وبالطريقة نفسها ، كما وصفنا سابقاً حول ميسر الماء الكامل الآلية بالزيوليت ، باستثناء أن العامل يعيد قبضة العداد استعداداً للشوط التالي

ميسرات الماء التي تعمل يدوياً بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) :

Manually Operated Sodium Cation (Zeolite) Water Softeners

في الميسر الذي يشغل يدوياً توضع قبضة العداد ، الموجود فوق خط الصبيب ، على عدد محدد من الجالونات في كل شوط تيسير ، ويربط العداد كهربائياً عادة إلى جرس إنذار أو ضوء ، بحيث يشير إلى نهاية شوط التيسير . يمكن أن تكون ميسرات الماء بمبادل الكاتيونات التي تشغل يدوياً من تصميم الصمام المتعدد الفوهات ، أو قد تكون مزودة بصمامات بوابية مستقلة . وكما

وصفنا تشغيل ميسر الماء بالتفصيل تحت عنوان : (ميسرات الماء الآلية بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) نحتاج فقط إلى وصف التشغيل اليدوي في الأشكال المختصرة التالية :

عمليات الصمام المتعدد الفوهات Multi port Valve Operations

الغسل الراجع Backwashing :

يدار الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية الغسل أو الغسل الراجع لمدة 10 دقائق حتى النقاوة عندئذٍ يدار الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية المحلول الملحي .

التجديد Regeneration :

للتجديد في الصمام المتعدد الفوهات ، يفتح الصمام الموجود على خط مص المحلول الملحي . ويسحب نزولاً العدد المطلوب من الإنشات من المحلول الملحي من صهريج هذا المحلول . يغلق الصمام على خط المص المذكور ويدار الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية الشطف .

الشطف Rinsing :

يجب إبقاء الصمام المتعدد الفوهات في وضعية الشطف حتى تنتهي هذه العملية تكتشف مقاربة نهاية الشطف عادة بواسطة تبليل الأصابع في الصبيب وتذوّقها عندما يختفي الطعم المالح ، يختبر العامل كل دقيقة أو دقيقتين بمحلول صابوني قياسي وزجاجة اهتزازية . عندما يظهر هذا الاختبار أن الماء أصبح يسراً يدار الصمام المتعدد الفوهات إلى وضعية التيسير .

التيسير Softening :

مع الصمام المتعدد الفوهات في وضعية الخدمة تعاد وحدة التيسير إلى الخدمة في هذا الوقت ، تكون القبضة فوق عداد تيسير الماء قد أعيدت من أجل شوط التيسير .

تشغيل الصمام البوابي المستقل

individual Gate Valve Operation

الغسل الراجع Backwashing :

تغلق صمامات دخول وخروج الماء اليسر . وتفتح وصمامات دخول وخروج الغسل الراجع ، ويستمر الغسل الراجع لمدة 10 دقائق أو حتى النقاوة . وعندئذٍ تغلق صمامات دخول وخروج الغسل الراجع .

التجديد Regeneration :

تفتح صمامات الشطف ومدخل الماء المالح ومدخل القاذف . وعندما يسحب نزولاً عدد محدد من الإنشات في صهريج الماء المالح تغلق صمامات دخول الماء المالح ومدخل القاذف .

الشطف Rinsing :

يفتح صمام دخول الماء العسر . تكتشف مقاربة نهاية الشطف عادة بتبليل الأصابع بالصبيب وتذوقها . وعندما يختفي الطعم المالح ، يختبر العامل كل دقيقة أو دقيقتين بمحلول صابوني قياسي وزجاجة رجّ . وعندما يظهر الاختبار يسر الماء يغلق صمام الشطف

التيسير Softening :

يفتح صمام خروج الماء اليسر ويعاد وضع القبضة فوق العداد من أجل شوط التيسير .

ميسرات الماء بالجريان الصاعد بمبادل كاتيونات الصوديوم

Up Flow Sodium Cation Exchanger (Zeolite) Water Softener

يعمل ميسر الماء بالجريان النازل بفعالية متساوية في كل معدلات الجريان من الصفر حتى حده الأقصى المحدد . ولذلك يستخدم على نطاق شائع تقريباً نموذج الميسرات ذات الجريان النازل في الصناعات لأنه يلائم على نحو أفضل

حاجاتها المتفاوتة من الماء وفي نموذج الجريان الصاعد من ميسرات الماء ، لا يمكن عادة الحصول على فعالية كاملة ما لم يشغل الميسر بمعدل ثابت ، يجب أن يكون مرتفعاً بما يكفي لتوسيع السرير بشكل يساعد على التخلص من التخدّد ، ويضمن التلامس مع حبيبات مبادل الكاتيونات . تستخدم ميسرات الجريان الصاعد إلى مدى محدد في التطبيقات البلدية ، و إلى مدى أكبر في النماذج المنزلية للميسرات .

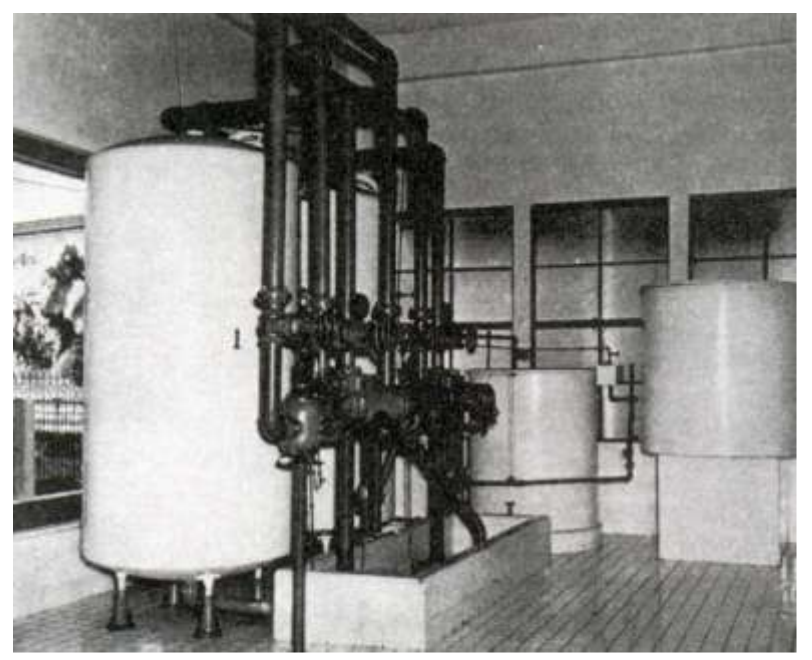
ميسرات الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) من نموذج الثقالة

Gravity- Type Sodium Exchanger (Zeolite) Water Softeners

تستخدم هذه الميسرات إلى مدى محدود جداً في الصناعة فقط ، والسبب الرئيسي في ذلك هو انخفاض معدلات جريانها ومتطلباتها الحيزّية الأكبر عند تشغيلها على مبدأ الجريان النازل العادي . مع ذلك يستخدم عدد منها (وبعضه منشآت كبيرة جداً) في التطبيق البلدي . وعلى الرغم من محدودية العدد الذي أقيم من ميسرات الثقالة ذات الأغلفة الأسطوانية ، الفولاذية أو الخشبية فإن معظمها يستخدم أغلفة كونكريتية مستطيلة تشبه إلى حد كبير مرشحات الثقالة الكونكريتية المعروفة ، يعمل بعض هذه الميسرات على مبدأ الجريان الصاعد ، ويعمل بعضها الآخر على مبدأ الجريان النازل .

في كل حالة يتألف ميسر الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم بالثقالة الكونكويتي من غلاف مستطيل ذي مساحة مناسبة لمعدلات الجريان المطلوبة ، وعمق يكفي لاحتواء السرير بالثخانة اللازمة والحصى الداعم ، ولتأمين حيز الشطف المطلوب . والضغط الضروري فوق سرير مبادل الكاتيونات . يمكن لشبكة التصريف التحتية أن تكون من نموذج المجرى العام والجانبي أو من نموذج القعر المصطنع . يجهز لكلا النموذجين عادة برؤوس تصفية متساوية البعد عن بعضها .

الصورة 4 – 15 وحدة من بطاريتين لتيسير الماء بطريقة كاتيونات الصوديوم , ويظهر على اليمين خزان المحلول الملحي القياسي وخزان الملح السائل



وكما في بناء مرشح الثقالة ، تستخدم عادة أحواض الغسل في الجزء العلوي من الغلاف . وفي التيسير بالجريان النازل ، تعمل هذه الأحواض لإدخال الماء الخام أثناء شوط التيسير لسحب ماء الغسل الراجع أثناء هذه العملية ، ولإدخال ماء الشطف خلال القيام بهذه العملية أيضاً . وفي عملية الجريان الصاعد تعمل على جمع الماء الميسر وعند الشطف تعمل على إدخال ماء الشطف تستخدم موزعات الماء المالح لتوزيع المحلول الملحي بشكل منتظم فوق السرير أثناء عملية الإشباع بالمحلول الملحي يضاف إلى هذا أنه يمكن استخدام الغسالات السطحية للمساعدة في عمليات الغسل الراجع .

تصنع ميسرات الماء من نموذج الثقالة كميسرات الضغط من نماذج تعمل آلياً ونصف آلي ويدوياً . وتستخدم عادة الصمامات البوابية الهيدرولية على الميسرات ، وتشغل من لوحات كاملة الآلية أو نصف آلية أو بالضبط اليدوي .

طريقة الجير البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين

Tow - Stage Cold Lim and Sodium Cation Exchange Process

في هذه الطريقة ، يعالج الماء أولاً مع الجير في ميسر الماء بطريقة الجير البارد ، ويرشح ، وتعاد كربنته عادة أو يعالج بجرعة صغيرة من حمض الكبريت ، وعندئذٍ تزال عسرة اللا كربونات وعسرة الكربونات الثمالية بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (انظر الفصل 18) .

طريقة الجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين

Tow -Stage Hot Lime and Sodium Cation Exchange Process

في هذه الطريقة يعالج الماء أولاً مع الجير في ميسر الماء بالطريقة الساخنة ويرشح ،وبعدئذٍ تزال عسرة اللا كربونات وعسرة الكربونات الثمالية بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم (انظر الفصل 19) .

طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين وتبادل كاتيونات الصوديوم

Hydrogen Cation Exchange and Sodium Cation Exchange Process

في هذه الطريقة يتم تمرير جزء من الماء عبر وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين ، وجزء آخر عبر وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم . وبعدئذٍ يمزج جريان الصبيبين في نسب ، بحيث تعادل محتويات حمض الكبريت و/ أو حمض كلور الماء من الأول بمحتوى بيكربونات الصوديوم في الثاني الذي يستخدم بزيادة طفيفة لتأمين أية درجة ضرورية من القلوية في الصبيب الممزوج . انظر الفصل 16 .

طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم وتبادل أنيونات الكلوريد ذات المرحلتين

Tow-Stage Sodium Cation Exchange and Chloride Anion Exchange

تستخدم هذه الطريقة إلى مدى محدد لتيسير وخفض القلوية في بعض مياه تغذية المراجل . وباختصار ، يتم أولً تيسير الماء العسر بطريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ، ويتم ثانياً تمرير الماء الميسر عبر مبادل أنيونات الكلوريد . تؤدي الخطوة الثانية هذه إلى استبدال كثير من محتوى بيكربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم في الميسر بكميات مكافئة من كلور الصوديوم . ولذلك وعلى الرغم من اختزالها لمحتوى قلوية البيكربونات (ومحتوى كبريتات الصوديوم أيضاً) ، فإنها لا تختزل المحتوى المكافئ لإجمالي المواد الصلبة ، كما في الطرق الثلاث المذكورة أعلاه . وفي نهاية شوط التشغيل ، يجدد مبادل الأنيونات بالملح ، الذي يزيل محتوى البيكربونات والكبريتات ، وتستعيد في نفس الوقت محتوى الكلوريد ، بينما يجدّد كالعادة مبادل الكاتيونات بالملح الذي يزيل محتوى الكلسيوم والمغنزيوم ، ويستعيد في الوقت نفسه محتوى الصوديوم .

الفصل السادس عشر

طرق تبادل
كاتيونات الهدروجين

Exchange – Hydrogen Cation Processes

طرق تبادل كاتيونات الهدروجين
Hydrogen Cation - Exchange Processes

كما رأينا في الفصل 15 ، تتم في طريقة تيسير الماء تبادل أيونات الصوديوم إلى أيونات كلسيوم و مغنيزيوم . لأن أيونات الصوديوم في الماء في الماء الميسر لا تخضع للتبدل . ولذلك تكون النتيجة ، هي أنه على الرغم من كون الماء قد تيسر تماماً ، فإن محتواه الإجمالي من الجوامد لم ينقص ، ويحتوي الصبيب على الكميات نفسها من الأيونات ، أي البيكربونات والكبريتات والكلوريد ، كالماء الخام ، إضافة إلى كاتيونات صوديوم تكافئ في كميتها الكمية الموجودة أصلاً ، وتلك التي تشكلت بتفاعلات التبادل . وبمعنى آخر ، إن أملاح الكلسيوم والمغنيزيوم الموجودة في الماء الخام ، استبدلت تماماً بكميات مكافئة من أملاح الصوديوم المماثلة ، وأملاح الصوديوم الأصلية الموجودة في الماء الخام لم تخضع للتبدل خلال المعالجة ، لا في طبيعتها ولا في كميتها ، ولذلك تكون موجودة في الماء الميسر .

المبادئ الأساسية للتشغيل : Principles Of Operation

في طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين يجري تبادل أيونات الهيدروجين بأيونات الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم ، فينتج عن ذلك إزالة الأيونات المعدنية للكلسيوم والمغنيزيوم وكذلك الصوديوم من الماء إلى حد أن حمض الكربون النظري المتشكل من البيكربونات المنحلة إلى ماء وثاني أكسيد الكربون وكميات حمض الكبريت ، وحمض كلور الماء التي تتطابق على التوالي مع كميات الكبريتات والكلوريد الموجودة في الماء الخام تبقى في الصبيب .

في طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم ينجز التجديد بمحلول الملح العادي (كلور الصوديوم) . وفي طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، يجري التجديد بحمض معدني . وحمض الكبريت ، هو مادة التجديد الأقل كلفة . والأوسع انتشاراً

. ويستخدم حمض ا كلور الماء الأكثر كلفة ، كمادة تجديد على نطاق أضيق . وعلى الرغم من إمكانية الحصول على بعض أيونات الهيدروجين القابلة للاستبدال بالزيوليتات السيليكونية ، فإن استخدامها على حلقة الهيدروجين غير عملي ، لأن الحمض المستخدم للتجديد يهاجمها ويحللها خلال وقت قصير نسبياً. إن جميع مبادلات الكاتيونات التي تستخدم في طريقة تبادل الهيدروجين ، هي مواد عضوية . وكنا أتينا على وصف مبادلات الكاتيونات العضوية هذه ، في حالة الصوديوم في الفصل 15 ، فعندما تجدد هذه المبادلات بنوع وتركيز مناسبين لحمض ما ، تتحول إلى مبادلات كاتيونات هيدروجين ، ويمكن استخدامها على حلقة الهيدروجين .

تفاعلات مبادلات كاتيونات الهيدروجين مع البيكربونات :

Reaction Of Hydrogen Cation Exchangers With Bicarbonates

بما أن بيكربونات الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم على حلقة الهيدروجين تزال تماماً ، فإنها لا تخلف شيئاً في الصبيب ، باستثناء غاز تسهل إزالته ، هو ثاني أكسيد الكربون . أما في حالة الكلوريدات والكبريتات المتشكلة من حمض كلور الماء وحمض الكبريتيك ، فيجب أن ندرس أولاً إزالة البيكربونات . ومع استخدام الرمز R لتمثيل الجذر العضوي المركب لمبادل كاتيونات الهيدروجين ، يمكن كتابة التفاعلات في شكلها المكثف كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na \end{matrix}\right\}(HCO_3)_2 + 2HR \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\}R_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

ذوابة   غير ذوابة   ذوابة

مبادل كاتيونات الهيدروجين مادة خرزية أو حبيبية ، غير ذوابة ، ومبادل كاتيونات الكلسيوم و أو المغنيزيوم و / أو الصوديوم الذي يتشكل بطريقة التبادل ، مادة غير ذوابة أيضاً . ويمكن إزالة ثاني أكسيد الكربون الناتج على شكل محلول

بواسطة التهوية . ولذلك إذا مر الماء الذي يحتوي فقط على البيكربونات، عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين ، فسوف لن يحتوي على شيء من الناحية العملية باستثناء بعض الهواء المنحل ولذلك يمكن بسهولة فهم أهمية استخدامات طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين وانتشارها الواسع في إزالة البيكربونات من الماء ، وبالتالي تخفيف إجمالي محتوى الجوامد .

ملاحظة :

عندما تستخدم مبادلات الكاتيونات العضوية على حلقة الصوديوم ، تكون الزمر السلفونية هي المفيدة ، أما الزمر الكربوكسيلية فقليلة الأهمية ، لأنها على الرغم من استخلاصها للكلسيوم والمغنيزيوم أثناء أول شوط للتيسير ، إلا أنها لا يمكن تجديدها بالملح بنجاح وعلى نحو اقتصادي . ولكن تفيد زمر الكربوكسيل الحمضية الضعيفة ، على حلقة الهيدروجين ، في إزالة البيكربونات ، لكنها لاتؤثر أو أن تأثيرها قليل في إزالة الكبريتات أو الكلوريدات ، بينما تتفاعل الزمر السلفونية الحمضية بقوة مع الكبريتات والكلوريدات إضافة إلى البيكربونات .وعلاوة على ذلك أنه يمكن بسهولة تجديد زمر الكربوكسيل المستنفذة بحمض مخفف ، إلى حد أنها لا تحتاج إلا إلى أكثر بقليل من الكميات النظرية . ومع استخدام بيكربونات الكلسيوم مثلاً يمكن كتابة تفاعلات زمر الكربوكسيل والزمر السلفونية مع الكربونات كما يلي :

$$(1) \quad Ca(HCO_3)_2 + 2R\text{-}CO_2H \rightarrow (R\text{-}CO_2)_2\,Ca + 2H_2O + 2CO_2$$

$$(2) \quad Ca(HCO_3)_2 + 2R\text{-}SO_3H \rightarrow (R\text{-}SO_3)_2\,Ca + 2H_2O + 2CO_2$$

تفاعلات مبادلات كاتيونات الهيدروجين مع الكبريتات و الكلوريدات :

Reaction Of Hydrogen Cation Exchangers With Sulfate & Chlorides

عندما يمر الماء الذي يحتوي على الكبريتات و / أو الكلوريدات عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين ، تزال الكاتيونات المعدنية ، وتتشكل في الصبيب كميات مكافئة من الحموض المقابلة (حمض الكبريت و/ أو حمض كلور الماء) وبما أن هذه الأحماض لا تزال بالتهوية يكون الصبيب حمضياً . ويمكن كتابة هذه التفاعلات بالشكل المكثف مع استخدام الرمز R لتمثيل الجذر العضوي للمبادل كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix} SO_4 \\ Cl_2 \end{matrix}\right. + 2HR \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\}R_2 \rightarrow H_2\left\{\begin{matrix} SO_4 \\ Cl_2 \end{matrix}\right.$$

ذوابة غير ذوابة غير ذوابة ذوابة

ملاحظة :

على الرغم من أهمية زمر الهيدروكسيل الحمضية الضعيفة في إزالة البيكربونات على حلقة الهيدروجين ، فإنها قليلة الأهمية في إزالة الكاتيونات المعدنية من الكبريتات أو الكلوريدات . والأحماض القوية تقريباً من الزمر السلفونية ، هي التي تتفاعل مع الكبريتات والكوريدات . ومع استخدام كبريتات الكلسيوم كنموذج ، تكون التفاعلات مع الزمر السلفونية :

$$(R\text{- }SO_3)_2\ Ca + H2SO_4 \rightarrow CaCo_4 + 2R\text{-- }SO_3H$$

ولتكييف هذا الصبيب الحمضي للاستخدام ، تجب معادلته أو إزالة الأحماض منه . وإذا احتوى الماء الخام على كمية كبيرة نسبياً من البيكربونات وكمية بسيطة من الكبريتات والكلوريدات يمكن معادلة الصبيب بالصودا الكاوية بعد التهوية . وبالمقابل ، إذا كانت كمية الكبريتات والكوريدات محسوسة ، فإن الطريقة الاقتصادية الأكثر في التشغيل تكون بمعادلة الأحماض بالصبيب من معادل كاتيونات الصوديوم .

وهناك طريقة ثالثة تستخدم حيث لا تدعو الحاجة لتيسير الماء بشكل كامل وتكون باستخدام مبادل كاتيونات الهيدروجين فقط ، ومزج الصبيب الحمضي ، بما يكفي من الماء الخام لمعادلة الأحماض ، وتأمين الدرجة المطلوبة من القلوية وتسمى هذه المعالجة بـ (نزع المعدن) وسنأتي على وصفها في الفصل 17 .

تجديد تفاعلات مبادل كاتيونات الهيدروجين

Regeneration Reaction Of Hydrogen- Cation Exchangers

عندما تستنزف القدرة النافعة للتبادل في سرير مبادل كاتيونات الهيدروجين نحتاج إلى التجديد لإزالة كاتيونات الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم ولاستبدالها في الوقت نفسه بأيونات الهيدروجين .

ويمكن إجراء التجديد بـ (1) حمض الكبريت أو (2) حمض كلور الماء .

التجديد بحمض الكبريتيك : Regeneration With Sulfuric Acid

وهو الأوسع انتشاراً والطريقة الأكثر اقتصادية . ويمكن كتابة التفاعلات في شكلها المكثف ، كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\} R_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HR + \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{matrix}\right\} SO_4$$

غير ذوابة ذوابة غير ذوابة ذوابة

النواتج الثانوية المتشكلة ، كما نرى في التفاعل أعلاه ، هي كبريتات الكلسيوم (CaSO4) و كبريتات المغنيزيوم (MgSO4) ، و كبريتات الصوديوم (Na2SO4) . ومن بينها كبريتات المغنيزيوم و كبريتات الصوديوم لا تظهر أية صعوبات لأنها ذوابة جداً ، ولذلك تزال بسهولة من سرير المبادل بالشطف العادي . ولكن ذوبانية كبريتات الكلسيوم ، محدودة ولهذا السبب يجب تخفيف محلول حمض الكبريت الذي يتلامس مع المبادل ، بحيث لا تترسب كبريتات الكلسيوم في حبيبات مبادل الأيونات وفوقه . والحمض المناسب لهذا الغرض هو الحمض الذي يحتوي على تركيز 2 % . يجدد هذا الحمض بنجاح مبادل الكاتيونات بدون ترسيب كبريتات الكلسيوم في السرير ، وفي حالة المبادلات الكربونية للكاتيونات ، سيقدم أقصى طاقة وفعالية . نحتاج إلى محاليل حمضية أقوى مع مبادلات الكاتيونات الراتينية عديدة الستايرين ، إذا أريد لها أن تعمل بقدرات أعلى وفي هذه الحال ، ينجز الجزء الأول من التجديد بحمض الكبريتيك 2 % الذي يحل محل معظم الكلسيوم من سرير مبادل الكاتيونات ، ويخفف خطر ترسب كبريتات الكلسيوم في السرير . يتم إدخال التوازن الحمضي بزيادة التركيز أي تركيز نهائي للحمض يصل حتى 10 % .

التجديد بحمض كلور الماء : Regeneration With Hydrochloric cid

يحدث استخدام حمض كلور الماء ، مع مبادلات الكاتيونات العديدة الستايرين التي تعمل بقدرات عالية ، تجديداً ممتازاً ، لأن كافة النواتج الثانوية لتفاعلات التجديد ككلور الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم ، ذوابة جداً ، و لذلك يمكن استخدام تركيز حمضي أعلى يصل عادة إلى HCl 15% من أجل كامل التجديد دون الخوف من خطر حدوث رواسب . إن كلفة حمض كلور الماء ، على أساس مكافئ ، أعلى من كلفة حمض الكبريت . ويمكن كتابة تفاعلات التجديد بحمض كلور الماء ، بصيغة المكثفة كما يلي :

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na2 \end{matrix}\right\} R2 \;+\; 2HCl \;\rightarrow\; 2HR \;+\; \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na2 \end{matrix}\right\} Cl2$$

غير ذواب ذواب غير ذواب ذواب

مبادلات كاتيونات الهيدروجين Hydrogen Cation Exchangers

النمطان الأوسع انتشاراً من مبادلات الكاتيونات في معالجة المياه بطرق تبادل كاتيونات الهيدروجين هما (1) مبادلات الكاتيونات العديدة الستايرين العالية القدرة ، و(2) مبادلات الكاتيونات الكربونية .

أتينا في الفصل 15 على وصف معادلات الكاتيونات هذه ، وطرق تصنيعها ، وصفاتها ، عندما تستخدم كمبادلات لكاتيونات الصوديوم . وعندما يتوجب استخدامها على حلقة الهيدروجين ، فإن كل ما نحتاجه هو تجديد بحمض معدني . وكما ذكرنا سابقاً إن حمض الكبريت هو مادة التجديد المستخدمة على نطاق واسع ويبين الجدول 1 . 16 الأصناف التجارية الثلاثة من حمض الكبريت . وحيثما يرد ذكر حمض الكبريتيك في هذا الفصل ، والفصل التالي ، تكون مقدرة بالباوندات من الحمض بدرجة66 بوميه (H_2SO_4 93.2 %) .

الجدول 1 . 16 أحماض الكبريت التجارية : درجات 60° بوميه و98% (التراكيز والأوزان بالجالون الأمريكي والقدم المكعب) .

الدرجة	H_2SO_4 %	الوزن النوعي 60 ْف	الأوزان	
			(ليبرة / جالون أمريكي)	ليبرة/ قدم مكعب
60° بوميه	77.7	1.7059	14.21	106.4
66° بوميه	93.2	1.8354	15.29	114.5
98 %	98	1.8437	15.37	115

جرعات مواد التجديد : *Regeneration Dosages*

الكمية النظرية من حمض الكبريتيك 66° بوميه (H_2SO_4 93.2%) ، التي نحتاجها من أجل 1كيلو قمحة (1000 قمحة) من الكاتيونات على شكل $CaCO_3$ ، هي 0.15 ليبرة كما في الحساب التالي (1كيلو قمحة = 1/7 ليبرة)

$$CaCO_3 = \frac{H2SO_4}{0.932} = 1/_7 = X$$

$$100 = = 1/_7 = \frac{98.1}{0.932} \quad X$$

$$X = 0.15 \text{ ليبرة}$$

ولكن كما هو ضروري تماماً استخدام زيادة من الملح عند مبادلات كاتيونات الصوديوم كما رأينا في الفصل 15 ، كذلك من الضروري أيضاً استخدام زيادة من الحمض فوق الكمية النظرية ، عند تجديد مبادلات كاتيونات الهيدروجين . وتختلف هذه الزيادة مع نموذج المبادل ، والقدرة التي يعمل بها ، وطريقة التجديد ، وتركيب الماء الذي هو قيد المعالجة ، وعموماً ، تتراوح جرعات حمض الكبريت 66° بوميه للكيلو قمحة من الكاتيونات المزالة من 0.3 . 0.6 ليبرة أو من 2ـ 4 أضعاف الرقم النظري عند استخدام حمض كلور الماء كمادة تجديد ، تتراوح الجرعة اللازمة أيضاً من حوالي 2ـ 4 أضعاف الرقم النظري لأن هذا الرقم هو 0.104 ليبرة من HCl

100% للكيلو قمحة من الكاتيونات على شكل $CaCO_3$ ، في حين تتراوح الجرعات الفعلية من حوالي 0.21 . 0.42 ليبرة . يحتوي حمض كلور الماء التجاري ما يقارب النسب المئوية التالية من HCl : 18° بوميه . 27 .9% ، 20° بوميه . 31.5 % ، 22° بوميه . 35.2 % ، ومن هنا إذا استخدم حمض 18° بوميه فالباوندات المطلوبة من هذا الحمض يجب أن تكون الأرقام أعلاه مضروبة ب 27.9 / 100 . وبما أنه يمكن تجديد مبادلات الكاتيونات الكربونية بصورة كاملة بـ حمض الكبريت 2 % فإن مادة التجديد تكون دائماً حمض الكبريت بتركيز 2 % هذا ، وتتراوح الكميات المستخدمة منه في القدم المكعب من مبادل الكاتيونات من 2 . 2.5 ليبرة . عندما تجدد مبادلات الكاتيونات العديدة الستايرين والعالية القدرة بحمض الكبريت 2 % تتراوح كميات حمض الكبريتيك 66° بوميه ، المستخدمة في القدم المكعب من مبادل الكاتيونات ، من 3ـ 6 ليبرة . ولكن عند تجديدها بطرق تدريجية أو غير تدريجية بزيادة (على مراحل أو تدريجياً) تركيز الحمض من 2 ـ 10 %، تتراوح كميات حمض الكبريت 66° بوميه المستخدمة للقدم المكعب من مبادل الكاتيونات من 6 . 12 ليبرة وعندما يستخدم حمض كلور الماء في تجديد مبادلات الكاتيونات العديدة الستايرين العالية القدرة تتراوح كمياته المستخدمة في القدم المكعب من مبادل الكاتيونات من 5 . 10 ليبرة (معبراً عنها كـ HCl 100%) ، وتستخدم عادة بتركيز 15%

قدرات تبادل الكاتيونات وتسربها

Cation Exchange Capacities and Cation Leakage

مع مبادل كاتيونات معين ، تختلف قدرات التبادل وتسربات الكاتيونات وفقاً لـ : (1) المدى الذي يجدد إليه مبادل الكاتيونات ، و(2) نسبة كاتيونات الصوديوم إلى إجمالي الكاتيونات الموجودة في الماء ، و(3) نسبة الأنيونات القلوية إلى إجمالي الأنيونات الموجودة في الماء .

فيما يتعلق بـ (1) ، باختصار إذا جدد مبادل الكاتيونات العالي القدرة بـ 3، أو 6 ، أو 12 ليبرة من الحمض للقدم المكعب ، يجب أن تكون القدرة عند التجديد بـ 6ليبرة أكبر بـ 60% منها عند تجديده بـ 3 ليبرة ، وعند التجديد بـ 12 ليبرة يجب أن تكون القدرة أكبر بحوالي 100 . 150 % مما هي عليه عند التجديد بـ 3 ليبرة ومع أي ماء مفترض أيضاً ، كلما كان تجديد مبادل الكاتيونات أكثر اكتمالاً كلما كان تسرب الكاتيونات أقل .

وفيما يتعلق بـ (2) ، كلما كانت نسبة كاتيونات الصوديوم إلى إجمالي محتوى الماء من الكاتيونات أعلى كلما كانت قدرة مبادل الكاتيونات أعلى ، وكلما كان التسرب أكبر أيضاً .

وفيما يتعلق بـ (3) كلما كانت نسبة الأنيونات القلوية إلى إجمالي محتوى الماء من الأنيونات أعلى ، كلما كانت قدرة الكاتيونات أعلى ، وكلما كان تسرب الكاتيونات أقل . وتظهر هذه النتائج في الجدول 2ـ 16 الذي يتضمن تقديرات نموذجية لمبادل كاتيونات العديدة الستايرين العالية القدرة على حلقة الهيدروجين، عند تجديده بـ 3 و 6 و 9 و 12 ليبرة من حمض الكبريت 66° بوميه للقدم المكعب .

ندرج في الجدول 3 . 16 القدرات النموذجية لمبادل الكاتيونات العديدة الستايرين العالية القدرة ، الذي جدد بـ 5 و 10 ليبرة من حمض كلور الماء (على أساس HCl 100%) للقدم المكعب والذي يستخدم بتركيز 15 % ، وندرج في الجدول القدرات النموذجية لمبادل الكاتيونات الكربونية ، الذي جدد بـ 2 و $1/_2$ 2ليبرة من حمض الكبريت 66° بوميه والذي استخدم بتركيز 2 % في هذين الجدولين والجدول السابق ، قدمنا القدرات بالكيلو قمحة من $CaCO_3$ بالقدم المكعب من مبادل الكاتيونات موضحة إلى أقرب عُشْرٍ من الكيلو قمحة .

الجدول 2 . 16

TABLE 16-2. TYPICAL CAPACITIES OF A HIGH CAPACITY POLYSTYRENE HYDROGEN CATION EXCHANGER WHEN REGENERATED WITH 3, 6, 9 AND 12 LB OF 66°Bé SULFURIC ACID PER CUBIC FOOT. SODIUM CATIONS—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS (AS $CaCO_3$). ALKALINITY—IN PERCENTAGES OF TOTAL ANIONS (AS $CaCO_3$). LEAKAGE—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS

Sulfuric Acid (lb 66° Bé/cu ft)	Sodium Cations	90 % Alkalinity		50 % Alkalinity		5 % Alkalinity	
		Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage
3 lb at 2%	10%	7.5	0.5%	7.0	2.6%	6.6	3.8%
	20%	7.8	0.9%	7.2	3.1%	6.7	4.5%
	40%	8.5	2.0%	7.8	4.8%	7.3	6.5%
	60%	9.7	3.9%	9.0	8.2%	8.4	11.0%
	80%	11.9	5.8%	11.1	18.6%	10.4	25.0%
6 lb stepwise	10%	11.1	0.4%	10.6	1.3%	10.1	2.0%
	20%	11.7	0.6%	11.0	1.4%	10.3	2.1%
	40%	13.3	1.0%	12.1	1.9%	11.2	2.6%
	60%	15.4	1.9%	14.0	3.9%	12.9	4.8%
	80%	18.1	3.5%	17.0	10.0%	15.8	12.0%
9 lb stepwise	10%	15.9	0.2%	14.2	0.5%	13.4	1.1%
	20%	16.4	0.3%	14.6	0.6%	13.7	1.2%
	40%	17.5	0.5%	15.6	0.8%	14.6	1.8%
	60%	19.0	0.7%	16.9	1.1%	15.7	3.2%
	80%	21.4	1.7%	19.0	3.8%	17.7	6.8%
12 lb stepwise	10%	18.6	0.2%	17.7	0.4%	17.2	1.1%
	20%	18.9	0.2%	18.0	0.5%	17.4	1.2%
	40%	19.4	0.3%	18.4	0.7%	17.6	1.8%
	60%	20.7	0.4%	19.4	1.2%	18.2	2.5%
	80%	22.8	0.8%	21.4	2.5%	20.3	4.3%

الجدول 3 . 16

TABLE 16-3. TYPICAL CAPACITIES OF A HIGH CAPACITY POLYSTYRENE HYDROGEN CATION EXCHANGER WHEN REGENERATED WITH 5 AND 10 LB OF HYDROCHLORIC ACID (ON A 100% HCl BASIS) PER CUBIC FOOT. SODIUM CATIONS—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS (AS $CaCO_3$). ALKALINITY—IN PERCENTAGES OF TOTAL ANIONS (AS $CaCO_3$). LEAKAGE—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS

Hydrochloric Acid (lb 100 %/cu ft)	Sodium Cations	90 % Alkalinity		50 % Alkalinity		5% Alkalinity	
		Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage
5 lb at 15%	10%	21.7	0.2%	21.1	1.5%	20.1	2.0%
	20%	22.1	0.3%	21.3	1.8%	20.3	2.4%
	40%	22.9	0.7%	22.1	2.4%	20.7	3.2%
	60%	23.5	1.2%	22.7	3.8%	21.3	5.0%
	80%	24.2	2.0%	23.5	5.4%	22.0	9.0%
10 lb at 15%	10%	27.5	0.2%	26.6	0.6%	24.0	1.2%
	20%	27.6	0.3%	26.7	0.8%	24.1	1.5%
	40%	27.9	0.4%	26.9	1.0%	24.3	1.8%
	60%	28.2	0.6%	27.1	1.2%	24.7	2.2%
	80%	28.6	0.8%	27.5	1.5%	25.3	2.5%

الجدول 4 . 16

TABLE 16-4. TYPICAL CAPACITIES OF A CARBONACEOUS HYDROGEN CATION EXCHANGER WHEN REGENERATED WITH 2 AND 2.5 LB OF 66°Bé SULFURIC ACID PER CUBIC FOOT. SODIUM CATIONS—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS (AS $CaCO_3$). ALKALINITY—IN PERCENTAGES OF TOTAL ANIONS (AS $CaCO_3$). LEAKAGE—IN PERCENTAGES OF TOTAL CATIONS

Sulfuric Acid (lb 66° Be/cu ft)	Sodium Cations	90 % Alkalinity		50 % Alkalinity		5 % Alkalinity	
		Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage	Kgr/cu ft	Leakage
2 lb at 2%	10%	5.6	0.4%	4.6	2.0%	3.7	4.0%
	20%	5.9	0.5%	4.7	2.1%	3.8	4.1%
	40%	6.4	0.6%	4.9	2.3%	3.8	4.3%
	60%	6.9	0.7%	5.2	2.5%	3.9	4.7%
	80%	7.4	1.1%	5.4	3.0%	4.0	5.4%
2.5 lb at 2%	10%	7.2	0.2%	5.4	2.0%	3.8	3.4%
	20%	7.3	0.3%	5.5	2.1%	3.9	3.5%
	40%	7.5	0.5%	5.7	2.2%	4.0	3.6%
	60%	7.7	0.7%	5.9	2.3%	4.0	3.7%
	80%	7.9	0.9%	6.2	2.4%	4.1	3.8%

معدات مبادل كاتيونات الهيدروجين :

Hydrogen Cation Exchanger Equipment

المعدات المستخدمة لتنفيذ طريقة تبادل الهيدروجين ، تشبه إلى مدى محدد ميسر الماء بالزيوليت ، الذي وصفناه في الفصل 15 ، لكنها تختلف في وجوب كونها صامدة للحمض . فالغلاف عادة غلاف أسطواني عمودي من الفولاذ ، ذو رؤوس مقعرة مكيفة للصمود في وجه أي ضغط يستخدم . يتوجب تبطين هذا الغلاف بالمطاط أو بأي بطانة أخرى صامدة للحمض . والتركيبات الداخلية مؤلفة من المطاط الصلب ، أو من مواد مغلفة بالمطاط ، أو من مواد صامدة للحمض ، والصمامات مؤلفة من المطاط المبطن ، والشبكة التي يجري الصبيب فيها مؤلفة من المطاط الصلب ، أو من المطاط المبطن ، أو من البلاستيك . تمثل الصورة 1 . 16 رسماً ذا قطاعات للغسل في وحدة آلية لمبادل كاتيونات الهيدروجين . في هذا التصميم المميز للمعدات الآلية تجري العمليات كما يلي :

(1) يتحكم بأمد شوط التشغيل عداد مائي . في نهاية الشوط يحدث العداد تماساً كهربائياً يشغّل المحرك بحيث يحرك الصمام المتعدد الفوهات إلى وضع الغسل .

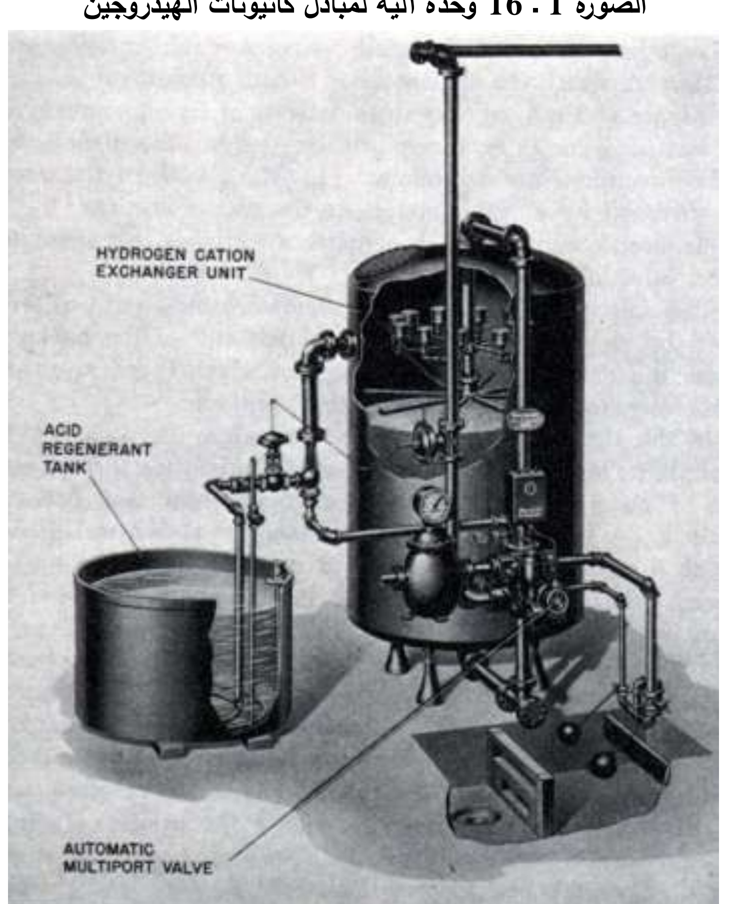
(2) في هذا التصميم تبدأ عملية الغسل الراجع التي يتحكم بأمدها مفتاح توقيت كهربائي . وعند انتهاء العملية يحدث مفتاح التوقيت تماساً يدفع المحرك إلى تدوير الصمام إلى وضعية التجديد .

(3) في هذا التصميم يقوم بقياس جرعة الحمض القوي ، ويخففه إلى تركيز 20% عن طريق إدخاله إلى كمية مقاسة من الماء في حوض مجدد الحمض المبطن بالرصاص بين التجديدات (صهريج لقياس الحمض المركز ، لا يظهر في هذه الصورة يعلو صهريج مادة تجديد الحمض) .

تحذير يجب دائماً إضافة الحمض إلى الماء ، لا الماء إلى الحمض .

تظهر في هذا الرسم شبكة مثقبة للتحريك بالهواء أثناء تخفيف الحمض . أثناء التجديد ، يسحب حمض الـ 20 % بواسطة قاذف هيدرولي ، يخففه إلى التركيز المناسب ، ويدخله إلى الوحدة بواسطة موزع ، يعلو مباشرة سطح سرير مبادل الكاتيونات . وعندما يعبر نزولاً إلى المصرف ، يتفاعل الحمض مع مبادل الكاتيونات ويستبدلها بكمية مكافئة من كاتيونات الهيدروجين . وعندما تكون الجرعة المحددة سلفاً من الحمض قد سحبت من صهريج المجدد ، يعمل مسرى في الصهريج على تدوير المحرك ، وهذا يدير بدوره الصمام إلى وضعية الشطف .

الصورة 1 . 16 وحدة آلية لمبادل كاتيونات الهيدروجين



(4) في هذه الوضعية ، يدخل تيار الماء الخام إلى الجزء العلوي من الوحدة عبر الموزع الناشر ، ويجري نزولاً عبر الوحدة و إلى الهدر ، وهكذا يشطف النواتج الثانوية الذوّابة وزيادة الحمض ، ويتحكم بفترة الشطف مفتاح توقيت كهربائي وفي نهاية الشطف ، يعمل مفتاح التوقيت على تدوير المحرك ثم إلى تدوير الصمام إلى وضعية الخدمة ، وتعود الوحدة إلى العمل ، جاهزة لمعالجة حجم مماثل من الماء . خلال هذا الوقت تعيد أداة أخرى آلياً قبضة العداد إلى شوط التشغيل .

سوف نلاحظ أثناء تشغيل مبادلات كاتيونات الصوديوم ، تزود أنابيب خروج الغسل الراجع والشطف بصمامات منفصلة تشغّل بعوامة ، والتي تعمل عن طريق محافظتها على مستويات مختلفة فوق اللوحة ذات الفتحات أثناء فترات الغسل الراجع والشطف لضبط الجريان عند معدل مناسب وعلى خلاف مبادلات كاتيونات الصوديوم ، لا تقاس نقاط المعايرة النهائية في شوط التشغيل والشطف ، عند الحاجة، بمحلول صابوني ، ولكن بأدوات توصيل كهربائية ، مثل الإنديترول Enditrol أو السولو بريدج Solu - Bridge . يشير هبوط الموصلية إلى قيمة تختلف مع مختلف تراكيب المياه إلى انتهاء عملية الشطف .

في التصميم الآلي المبين في الشكل 1 . 16 من الضروري بالنسبة للعامل ، كما ذكرنا سابقاً ، أن يقوم بمزج كل دفعة من مادة التجديد في كل مرة أثناء سير العملية . وفي تصاميم أخرى لوحدات آلية يقاس الحمض المركز آلياً ويخفف وهو في طريقه إلى الوحدة ، ولا يحتاج العامل لتحضير أي دفعة من مادة التجديد . وحيثما تستخدم الطرق التدرّجية أو اللامرحلية في التجديد ، يمكن أيضاً زيادة مادة التجديد أثناء عملية التجديد آلياً . توجد أيضاً إضافة إلى الوحدات الكاملة الآلية ، يدوياً تعمل يدوياً بزر ضاغط . في الوحدات الصغيرة ، حيث تستخدم دفعات من مجدد حمض الكبريت المخفف تستخدم غالباً صهاريج بلاستيكية أو خزفية بدلاً من

الصهاريج المبطنة بالرصاص ، وتستخدم أيضاً عندما يكون حمض كلور الماء هو المجدد ، لأن هذا الحمض لا يمكن معالجته طبعاً في صهاريج مبطنة بالرصاص.

معالجة صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين :

Treatment Of Hydrogen Cation Exchanger Effluents

يحتوي الصبيب ، الناتج عن معالجة مختلف أنواع المياه بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين ، على كميات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون و/ أو حمض الكبريت و/ أو حمض كلور الماء . يمكن تخفيف محتوى ثاني أكسيد الكربون بجهاز تهوية من نموذج التيارات القسرية ، كجهاز نزع الغاز إلى مادون 10 أو 1 ppm حسب الحاجة أو في بعض الحالات بجهاز تهوية فراغي .

ملاحظة :

كنا وصفنا جهاز التهوية من نموذج التيارات القسرية في الفصل العاشر وجهاز التهوية الفراغي في الفصل الحادي عشر .

تمكن إزالة حمض الكبريت و/ أو حمض كلور الماء بـ :

(1) مبادل الأنيونات الذي يتسبب بنزع المعادن أيضاً .

و(2) المعادلة بـ : (أ) مادة قلوية هي عادة الصودا الكاوية .

(ب) صبيب مبادل كاتيونات الصوديوم .

(ج) عدد محدود من تطبيقات الماء الخام .

طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين والصودا الكاوية :

Hydrogen Cation -Exchanger plus Caustic Soda Process

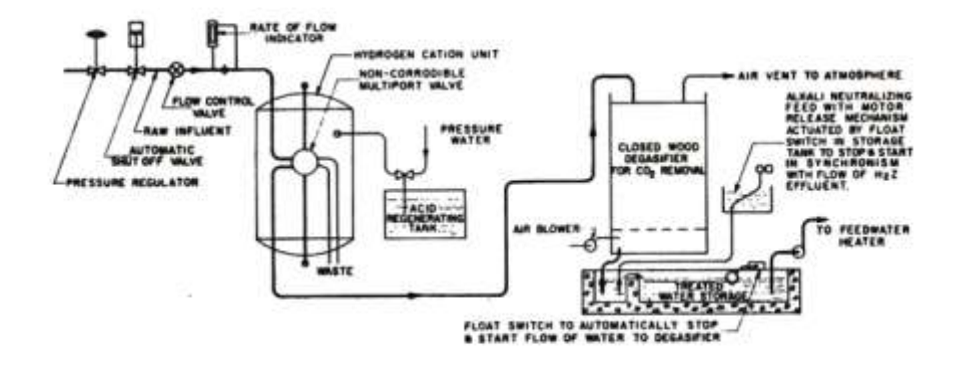
في هذه الطريقة للتشغيل كما يظهر في الصورة 2. 16 يتألف التصميم من :

(1) وحدة أو وحدات لمبادل كاتيونات الهيدروجين .

(2) نازع غاز .

(3) ملقم الصودا الكاوية .

الصورة 2 . 16



يطلق الماء عند عبوره وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين محتواه من الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم , ويتلقى بدلاً منها أيونات الهيدروجين التي تشكل أحماضاً مماثلة . وكما ذكرنا سابقاً إن الحمض المتشكل بواسطة البيكربونات هو حمض الكربون النظري (H_2CO_3) ، الذي يتفكك سريعاً إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ولكن الكبريتات والكلوريدات تشكل حمض الكبريت(H_2SO_4) ، وحمض كلور الماء (HCl) .وبما أنها موجودة في حجوم الماء الكبيرة فإنها تتأين عملياً بشكل كامل ، بحيث توجد فعلاً كأيونات هيدروجين وكلوريد وكبريتات .

وبعدئذٍ يمر الصبيب الحمضي عبر نازع الغاز ، أو عبر جهاز التهوية بالتيارات القسرية لإزالة محتواه من ثاني أكسيد الكربون الطليق . وعندئذٍ تلقم الصودا الكاوية ، كما يظهر في الصورة 2 ـ 16 إلى صبيب نازع الغاز بكميات تكفي لمعادلة محتوى حمض الكبريت وحمض كلور الماء ، وتوفر القلوية المطلوبة . تكون هذه القلوية عادة حوالي 15 ppm ، ولكن تستخدم أيضاً كميات أقل أو أكثر اعتمادا على الهدف الذي ستستخدم من أجله المياه المعالجة .

يمكن استخدام طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين والصودا الكاوية في معالجة المياه ذات المحتوى المنخفض من الكبريتات و/ أو الكلوريدات ، ولكن مع

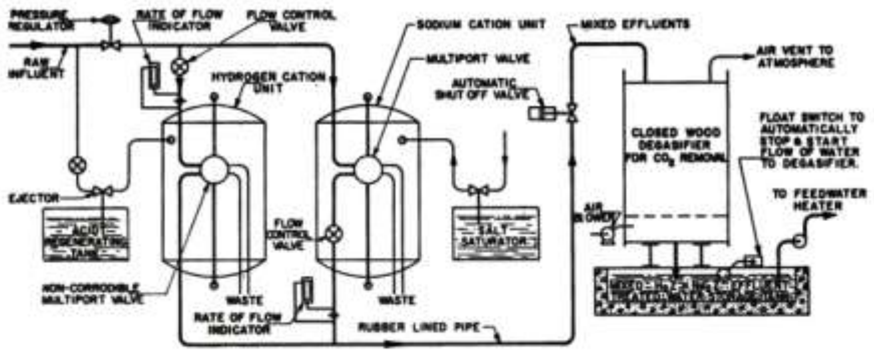
المياه ذات المحتوى الأعلى من الكبريتات و/ أو الكلوريدات سوف تثبت الطريقة التالية بأنها اقتصادية أكثر .

طريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين ومبادل كاتيونات الصوديوم :

Hydrogen Cation-Exchanger and Sodium Cation Exchanger Process

يتألف الجهاز المستخدم في هذه الطريقة كما يظهر في الصورة 3. 16 من :

الصورة 3 . 16



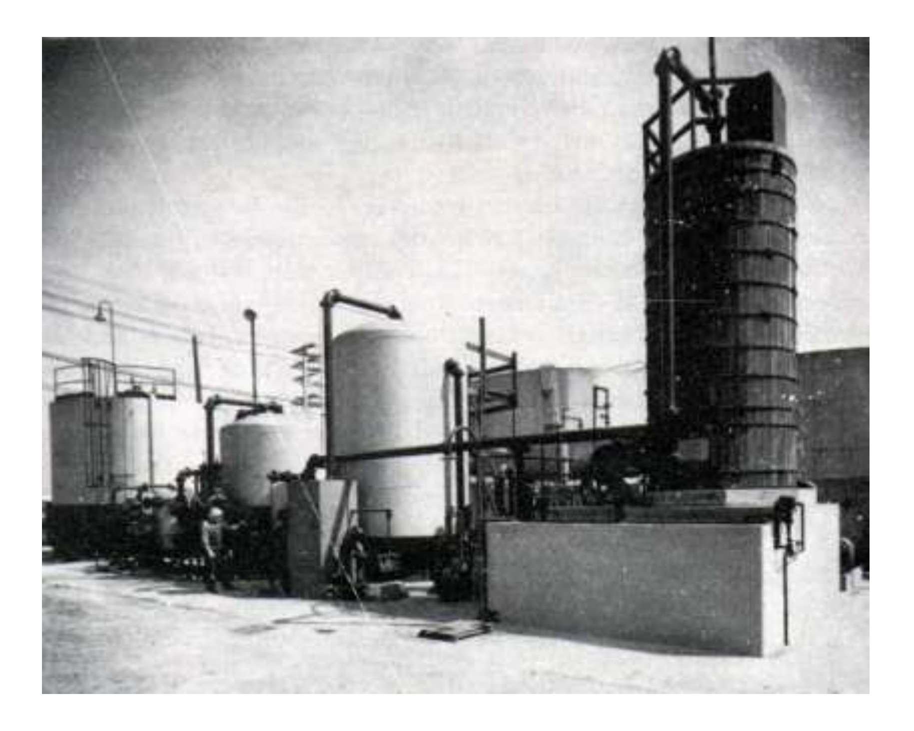
(1) وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين .

و(2) وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم .

و(3) نازع للغاز .

يلاحظ أن نازع الغاز يستخدم في هذا الجهاز لنزع الكربون من الصبيب المتعادل ، بينما ينزع الكربون من صبيب الجهاز الذي وصفناه آنفاً مبادل كاتيونات الهيدروجين ، قبل التعادل . ينزع الكربون من مزيج صبيبي مبادل كاتيونات الهيدروجين ومبادل كاتيونات الصوديوم ، بحيث ينطلق ثاني أكسيد الكربون المتشكل أثناء التعادل إضافة إلى المتشكل منه بتأثير مبادل كاتيونات الهيدروجين .

الصورة 4 . 16



جريان الصبيب من وحدة مبادل الكاتيونات معدل جداً ، إلى حد أن محتواه من بيكربونات الصوديوم يكفي لمعادلة الحموضة في جريان الصبيب من مبادل وحدة كاتيونات الهيدروجين ، ويؤمن أيضاً أي زيادة مطلوبة من القلوية .

وتكون هذه الزيادة عادة حوالي 15 ppm تقريباً . ولكن تستخدم درجة أقل أو أكثر من القلوية اعتماداً على الغرض الذي ستستخدم المياه المعالجة من أجله. وبعدئذٍ يمر مزيج الصبيبن من خلال نازع الغاز ، الذي يزيل الجزء الأكبر من محتوى ثاني أكسيد الكربون ، وكما ذكرنا سابقاً يمكن الحصول على ثمالات أقل من 10 ppm أو أقل من 5 ppm ، حسب المطلوب . والصورة الفوتوغرافية 4-16 هي صورة لمنشأة من هذا النموذج في مصفاة للزيت في كاليفورنيا . وفي وحدة كاتيونات الصوديوم تجدد بمياه البحر .

طريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين والماء الخام :

Hydrogen Cation - Exchanger Plus Raw- Water Process

في الحالات التي يتم فيها تخفيف القلوية إلى كمية محددة وجزئية ، ولا يكون مطلوباً إزالة العسرة بالكامل ، يمزج الصبيب من مبادل كاتيونات الهيدروجين بما يكفي من الماء الخام ، بحيث يعادل محتوى الكربونات فيه الحموضة ، ويؤمن زيادة القلوية المطلوبة ، وعندئذٍ تمرر المياه من خلال نازع الغاز ويتألف التصميم المستخدم من :

(1) وحدة أو وحدات مبادل كاتيونات الهيدروجين زائداً .

(2) نازع الغاز يمزج الماء الخام بصبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين قبل وصوله إلى نازع الغاز ، بحيث ينقص ثاني أكسيد الكربون المتحرر بالتعادل إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون المتحرر في مبادل كاتيونات الهيدروجين إلى التفاوت المسموح الذي نريده . على الرغم من محدودية استخدامات تبادل كاتيونات الهيدروجين وطريقة الماء الخام ، فقد استخدمت في بعض الصناعات ، عندما كان محتوى الماء من البيكربونات عالياً ، وعسرته خفيضة جداً .

طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات :

Ion Exchange Demineralization Process

في الطرق السابقة ، يحتوي الصبيب المتعادل النهائي على الكميات نفسها من أنيونات الكبريتات والكلوريد كالماء الخام . وبدلاً من ذلك ، كان يمكن إزالة هذه الأنيونات بتمرير الصبيب الحمضي من مبادل كاتيونات الهيدروجين عبر مبادل الأنيونات ، الذي كان سيزيلها ، ويؤمن ماء خالياً من الحمض مزالة معادنه . علاوة على ذلك ، لا يمارس مبادل كاتيونات الهيدروجين أي تأثير في تخفيض محتوى السيلكا في الماء ، لكن إذ مرّ صبيبه عبر مبادل أنيونات قاعدي ، مركز فسوف تزال السيلكا مع الأنيونات الأخرى وسنأتي في الفصل 17 على وصف هذه الطرق لنزع المعادن بتبادل الأنيونات .

ملاحظة :

بقصد التبسيط ، صورت في تفاعلات تبادل كاتيونات الهيدروجين فقط كاتيونات الكلسيوم والمغنيزيوم

والصوديوم ، وأنيونات البيكربونات والكبريتات والكلوريد . ومن الواضح أن الكاتيونات الأخرى ، التي قد توجد في الماء مثل كاتيونات الحديدي والمنغنيز والبوتاسيوم ستزال أيضاً بهذه الطريقة . ولذلك تزيل طريقة كاتيونات الهيدروجين: الحديد و/ أو المنغنيز الذواب من المياه الحاملة للحديد و / أو المنغنيز ، في نفس الوقت مع إزالة الكاتيونات الأخرى (انظر الفصل 15) . وفيما يتعلق بالأنيونات أيضاً تحتوي بعض المياه الطبيعية إضافة إلى قلوية البيكربونات ، كميات بسيطة من الكربونات . في حين قد تحتوي المياه التي عولجت مسبقاً بإحدى طرق الجير البارد ، على هيدروكسيدات إضافة إلى الكربونات . تتفاعل الكربونات مع مبادل كاتيونات الهيدروجين بالطريقة نفسها كالبيكربونات ، لكنها تطلق فقط نصف ثاني أكسيد الكربون . والهيدروكسيدات تفعّل أيضاً الكاتيونات المحتجزة من قبل مبادل الكاتيونات أثناء انطلاق الهيدروجين في وحدات التبادل مع أيونات الهيدروكسيل لتشكيل الماء كناتج ثانوي ، ربما ينبغي علينا أن نذكر ناتجاً ثانوياً أخر: إذ احتوى الماء على النترات ، يكون الناتج الثانوي هو حمض النتريك .

الفصل السابع عشر

طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات والتقطير

Ion Exchange Demineralization Processes And Distillation

طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات والتقطير :

Ion Exchange Demineralization Processes And Distillation

هناك طريقتين فقط لإزالة المادة المعدنية بالكامل من الماء :

(1) نزع المعادن بتبادل الأيونات . (2) التقطير .

ملاحظة :

لا تسبب طريقة كاتيونات الصوديوم (الزيوليت) نقصاً في محتوى البيكربونات أو الكبريتات ، أو الكلوريد ، وتظهر هذه في الصبيب على شكل محتوى أملاح صوديوم (الفصل 15) . تزيل طريقة مبادل كاتيونات الهيدروجين البيكربونات ، لكنها لا تسبب نقصاً في محتوى الكبريتات والكلوريد ، الذي يظهر في الصبيب كأحماض مماثلة ، أو بعد التعادل ، ككبريتات وكلوريد مماثلة في كميتها للكميات الموجودة في الماء الخام (الفصل 16) . وتسبب طريقة الجير صودا البارد(الفصل 18) وطريقة الجير صودا الساخنة (الفصل 19) نقصاً في القلوية بسبب بيكربونات الكلسيوم والمنغنيز، لكنهما لا تؤثران في إنقاص محتوى الكبريتات والكلوريد أو قلوية الصوديوم . وطريقة الجير باريوم الباردة (الفصل 18) سيزيل أيضاً أو تنقص ، إضافة إلى إنقاص عسرة البيكربونات ، محتوى الكبريتات الذي يعزى إلى محتوى كبريتات الكلسيوم أو المغنيزيوم . (في حالة كبريتات الصوديوم ، يمكن إنقاص محتوى الكبريتات ، ولكن لا فائدة من هذا ، لأن كمية مكافئة من كربونات الصوديوم تتشكل) لكنها لا تخفف محتوى الكلوريد .

تؤمن كلتا الطريقتين نوعية ممتازة من المياه ، ولكن تكاليف نزع المعادن بتبادل الأيونات ، مع أكثر المياه العذبة الطبيعية ، تشكل جزءاً بسيطاً فقط من تكاليف التقطير . ولهذا السبب انتشرت على نطاق واسع طريقة نزع المعادن بتبادل الأيونات . فعلى سبيل المثال ، إن نظرة على الجدول 1− 5 ، في الفصل الخامس ، تظهر أن ثلث أضعاف الصناعات المختلفة المدرجة فيه ، تستخدم اليوم طريقة لنزع المعادن بتبادل الأيونات ، لهذا الغرض أو ذاك ، لمياه تغذية المراجل ، والمياه المعالجة لضرب واسع من العمليات ، وبعض مياه التبريد ، ومياه الشطف ، إلخ ، وتتوسع هذه الاستخدامات بسرعة .

ولكن لا يمكن استخدام الطرق العادية لتبادل الأيونات (تلك التي تستخدم الحموض ومواد التجديد القلوية) مع الماء المالحة جداً ، بسبب زيادة تكاليفها ، ونقص إنتاجها مع زيادة الملوحة ، حتى تصل إلى مرحلة يصبح استخدامها غير عملي . ولهذا السبب يستخدم التقطير أو طرقاً أخرى لنزع الملح من المياه العالية الملوحة . انظر " نزع ملح مياه البحر والمياه الضاربة إلى الملوحة " فيما بعد .

ملاحظة :

منذ إدخال مياه البحر إلى عدة التقطير ، الموصوفة في الفصل الأول من أجل الاستخدام الطارئ في أزمات وقوارب النجاة ، تكرر طرح السؤال حول إمكانية تطبيق هذه الطريقة في العمليات الواسعة

النطاق لأن كلفة نزع الملح من مياه البحر بهذه الطريقة ، هي أكبر بـ 1000 مرة من تكاليف تقطيره (والطريقة إياها لا تزيل كامل الأملاح ، بل تنقصها فحسب بما يكفي لتأمين ماء صالح للشرب) . وهكذا يصبح الجواب واضحاً .

طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات :

Ion Exchange Demineralization Processes

دخلت عبارات نزع المعادن Demineralization , وانتزاع المعادن Demineralizing , ونزع الأيونات Deionization الاستخدام الشائع ، لتمييز إزالة المادة المعدنية من الماء بطرق تبادل الأيونات من إزالتها بالتقطير . وتستخدم في النص التالي ، على هذا النحو ، عبارتا " نزع المعادن" و " انتزاع المعادن" ، وتسمى المعدات المستخدمة لهذا الغرض بـ " نازع المعادن" . وتستخدم للمعدات المستخدمة في التقطير عادة عبارته " المبخِّر" و "المِقطَر" .

وباختصار ، تنجز عمليات نزع المعادن بمبادلة الأيونات عن طريق إزالة الكاتيونات بمبادل أو مبادلات كاتيونات الهيدروجين ، والأنيونات بمبادل أو مبادلات الأنيونات . وكما وصفنا في الفصل 16 ، يحتوي الصبيب من طريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين على أحماض تشكلت من الأنيونات الموجودة في الماء والهيدروجين المنطلق بدلاً من كاتيونات الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم إلخ ، الذي كان محتجزاً من قبل الكاتيونات . والأحماض المتأنية بشدة ، التي قد تكون موجودة ، هي بصورة رئيسية حمض الكبريت (H_2SO_4) ، حمض كلور الماء (HCl) ، وحمض النتريك (HNO_3) عند وجود النترات . والأحماض المتأنية الضعيفة التي قد تكون موجودة هي حمض الكربون (H_2CO_3) وحمض السليسيك (H_2SiO_3) .

مبادلات الأيونات القاعدية الضعيفة :

Weakly Basic Anion Exchangers

يمكن تصنيف النموذجين الرئيسيين من مبادلات الأنيونات ، التي قد تستخدم في طرق نزع المعادن بتبادل الأيونات كما يلي :

(1) مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة .

(2) مبادلات الأنيونات القاعدية القوية .

يمكن استخدام مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية لإزالة الأحماض الشديدة التأين ، لكنها لا تزيل الأحماض الضعيفة التأين . ومع استخدام الرمز R_3N لمبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية ، يمكن كتابة التفاعلات المشتركة في إزالة الأحماض القوية التأين أثناء سير العمل في وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضغطية ، كما يلي :

$$H_2SO_4 + 2R_3 \rightarrow (R_3N_2) . H_2SO_4$$

$$HCl + R_3N \rightarrow R_3N.HCl$$

$$HNO_3 + R_3N \rightarrow R_3N.HNO_3$$

حمض قوي ذواب   قاعدة ضعيفة غير ذوابة   مبادل أنيوني

في نهاية كل شوط تشغيل ، تغسل وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة رجوعياً ، وتجدد بمحلول رماد الصودا (Na_2CO_3 ، كربونات الصوديوم) ، وتشطف وتعاد للخدمة ، ويمكن كتابة تفاعلات التجديد كما يلي :

$$(R_3N)_2.H_2SO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow 2R_3N + Na_2SO_4 + CO_2 + H_2O$$

$$2R_3N.HCl + Na_2CO_3 \rightarrow 2R_3N + 2NaCl + CO_2 + H_2O$$

$$2R_3N + Na_2CO_3 \rightarrow 2R_3N + 2NaNO_3 + CO_2 + H_2O$$

بما أن الأحماض الضعيفة التأين لا تزال بمبادل الانيونات القاعدية الضعيفة ، يحتوي الصبيب على الكمية نفسها من السيلكا كالماء المتدفق ، ومحتوى ثاني أكسيد الكربون مماثل لنظيره المتشكل أثناء مروره عبر مبادل كاتيونات للهيدروجين ، إضافة إلى محتواه الأصلي من ثاني أكسيد الكربون الطليق . يمكن إزالة الجزء الأكبر من محتوى ثاني أكسيد الكربون هذا بنازع الغاز ، أو جهاز التهوية الخوائي

، أو (إلى مدى محدود ، حيث تكون كميات الماء المعالج قليلة نسبياً) بصهريج لنزع الكربون ، وتتخلف ثمالات أقل من 10 ppm أو 5 ppm حسب الرغبة .

مبادلات الأنيونات القاعدية القوية :

Strongly Basic Anion Exchangers

تختلف هذه المبادلات عن مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة في كونها لا تزيل فقط الأحماض الشديد التأين ، بل أيضاً الأحماض الضعيفة التأين . ومع استخدام الرمز R_4N لجذر مبادلات الأنيونات القاعدية القوية ، يمكن كتابة التفاعلات المشتركة في إزالة الأحماض القوية والضعيفة التأين أثناء شوط تشغيل مبادل الأنيونات القاعدية القوية كما يلي :

$$H_2SO_4 + 2\,R_4NOH \rightarrow (R_4N)_2SO_4 + 2H_2O$$
$$HCl + R_4NOH \rightarrow R_4NCl + H_2O$$
$$HNO_3 + R_4NOH \rightarrow R_4NNO_3 + H_2O$$
$$H_2CO_3 + R_4NOH \rightarrow R_4NHCO_3 + H_2O$$
$$H_2SiO_3 + R_4NOH \rightarrow R_4NHSiO_3 + H_2O$$

تغسل وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية رجوعياً بعد كل شوط تشغيل ، وتجدد بمحلول الصودا الكاوية (NaOH – هيدروكسيد الصوديوم) ، وتشطف ، وتعاد إلى الخدمة . ويمكن كتابة تفاعلات التجديد كما يلي :

$$(R_4N)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow 2R_4NOH + Na_2SO_4$$
$$R_4NCl + NaOH \rightarrow R_4NOH + NaCl$$
$$R_4NNO_3 + NaOH \rightarrow R_4NOH + NaNO_3$$
$$R_4NHCO_3 + 2NaOH \rightarrow R_4NOH + Na_2CO_3 + H_2O$$
$$R_4NHSiO_3 + 2NaOH \rightarrow R_4NOH + Na_2SiO_3 + H_2O$$

رغم أن مبادلات الأنيونات القاعدية القوية ستزيل حمض الكربون ، إلا أن إزالة محتوى ثاني أكسيد الكربون → ($H_2CO_3 \quad CO_2 + H_2O$) بوسائل ميكانيكية أقل كلفة بكثير منها بوسائل كيميائية . ولذلك يزال الجزء الأكبر من محتوى ثاني أكسيد الكربون في الصبيب الحمضي من مبادل كاتيونات الهيدروجين

المستخدم في المرحلة الأولى من العملية ، في كل منشآت نزع المعادن بتبادل الأيونات ، بواسطة نازع الغاز ، أو جهاز التهوية الخوائي ، أو صهريج نزع الكربون ، قبل الدخول إلى وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية . يستثنى من ذلك معادن المياه ذات المحتوى البسيط من قلوية البيكربونات ، ونزع معادن المياه من كميات المياه القليلة نسبياً .

مبادلات الأنيونات القاعدية الوسيطة :

Intermediate Basicity Anion Exchangers

إن لمبادلات الأنيونات ذات القاعدية الوسيطة كثيراً من الخواص التي تحملها مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة ، وقد تستخدم لإزالة الأحماض الشديدة التأين . ولكنها تختلف في كونها تجدد بالصودا الكاوية بدلاً من رماد الصودا . ولذلك ، يمكن استخدام مجدد الصودا الكاوية ، أولاً لتجديد مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، وثانياً لتجديد مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسيطة ، وذلك في بعض الحالات ، عندما يستخدم هذا النموذج من مبادل الأنيونات في المرحلة الثانية لعملية نزع المعادن ومبادل الأنيونات القاعدية القوية في واحدة من المراحل التالية . إذا سخن المجدد قبل استخدامه في وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، يجب تبريده قبل استخدامه لتجديد مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية . وبسبب من قاعديته الوسطية ،فإن هذا المبادل سوف يلتقط بعضاً من ثاني أكسيد الكربون ،ولذلك إذا كان محتوى ثاني أكسيد الكربون في الصبيب يتجاوز 10 ppm، فإن جرعة المجدد قد تزداد كما يظهر في الجدول 2 – 17 ، أو إذا استخدم نازع الغاز ، فيجب أن يسبق استعمال مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية .

تأثيرات الكبريتات على قدرات مبادلات الأنيونات :

Effects Of Sulfate On Capacities Of Anion Exchangers

رغم أن تفاعلات مبادل الأنيونات مع حمض الكبريت ، كانت قد كتبت كما لو كانت معادلة بالطريقة نفسها ككميات مكافئة من حمض كلور الماء وحمض النتريك ، فهي تُعادل أيضاً ، وعلى حد كبير مدى معين ، كما لو كان واحداً فقط من كاتيوني الهيدروجين فيها حمضاً . ولذلك تكون قدرات جميع مبادلات الأنيونات هذه أعلى بالنسبة لحمض الكبريت مما هي بالنسبة لكميات مكافئة من حمض كلور الماء وحمض الآزوت ، كما يظهر في الجدول 2 – 17

وفي هذا الجدول يعبر عن الكبريتات كنسبة مئوية من الحموضة المعدنية النظرية Theoretical Mineral Acidity, والكل بلغة مكافئة من $CaCO_3$.

قدرات مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة ، وذات القاعدية الوسطية :

Capacities Of Weakly Basic and Intermediate Basic Anion Exchangers

يعبر عن قدرات هذين النموذجين من مبادلات الأنيونات بلغة الحموضة المعدنية النظرية في الكلغ / قدم^3 كـ $CaCO_3$. يمكن حساب الحموضة المعدنية النظرية من محتويات الكبريتات و الكلوريد والنترات في الماء الذي سيعالج كما يلي :

كبريتات (SO_4) كأجزاء بالمليون من $CaCO_3 \times 1$ =

كلوريد (Cl) = = = = × 1 =

نترات (NO_3) = = = = × 1 =

الحموضة المعدنية النظرية ، في غ / جالون كـ $CaCO_3$ = مجموع النتائج أعلاه مقسمة على 17.1 .

قدرات مبادلات الأنيونات القاعدية القوية :

Capacities Of The Strongly Basic Anion Exchangers

يعبر عن قدرات هذه المبادلات بإجمالي الحموضة في كغ / قدم[3] كـ $CaCO_3$

(آ) يحسب إجمالي الحموضة ، إذا كان لا يتوجب نزع كربون الصبيب من مبادل كاتيونات الهيدروجين قبل دخوله مبادل الأنيونات ، من قلوية البيكربونات و/ أو قلوية الكبريتات ، ومحتويات الكبريتات ، والنترات ، وثاني أكسيد الكربون الطليق في الماء الذي سيعالج ، كما يلي :

قلوية البيكربونات (HCO_3) كأجزاء من $CaCO_3$ بالمليون × 1 =

قلوية الكربونات (CO_3) = = = = × 0.5 =

كبريتات (SO_4) = = = = × 1 =

الكلوريد (Cl) = = = = × 1 =

نترات (NO_3) = = = = × 1 =

ثاني أكسيد الكربون الطليق (CO_2) = = CO_2 = × 1.14 =

سيلكا (SiO_2) = = = = × 0.83 =

إجمالي الحموضة في غ / جالون كـ $CaCO_3$ = مجموع النتائج أعلاه ، مقسمة على 17.1 .

(ب) يحسب إجمالي الحموضة ، إذا كان يجب إزالة معظم محتوى ثاني أكسيد الكربون من صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين في المرحلة الأولى بنازع الغاز أو بجهاز التهوية الفراغي أو بصهريج نزع الكربنة ، من محتويات الكبريتات والكلوريد والنترات وثمالة ثاني أكسيد الكربون والسيلكا ، كما يلي :

كبريتات (SO_4) = كأجزاء من $CaCO_3$ بالمليون ×1 =

كلوريد (Cl) = = = = = × 1 =

نترات (NO_3) = = = = = × 1 =

ثاني أكسيد الكربون الطليق CO_2 = = = CO_2 = × 1.14 =

سيلكا = = = SiO_2 = × 0.83 =

إجمالي الحموضة ، في غ / جالون كـ $CaCO_3$ = مجموع النتائج أعلاه مقسوماً على 17,1

أدرجنا في الجدول 1 – 17 الخواص الفيزيائية لمبادلات الأنيونات النموذجية ، وفي الجدول 2 – 17 الإجمالي النموذجي لسعات الحموضة للنموذجين 1 و 2 من مبادلات الأنيونات القاعدية القوية ، وسعات الحموضة المعدنية النظرية النموذجية لمبادلات الأنيونات ذات القاعدية الوسطية ، والقاعدية الضعيفة

الجدول 1–17 الخواص الفيزيائية لمبادلات الأنيونات النموذجية

مبادلات الأنيونات	اللون	حجم النخل (ميش)	أوزان الثقل ليبرة / قدم^3
مبادلات الأنيونات القاعدية القوية نموذج 1 (مجموعة الراتين الأمينية الرباعية العديدة الستايرين التي تحتوي على الألكيل في التركيب الرباعي) .	حبيبات كروية مصفرة	16 – 50	43 – 45
مبادل الأنيونات القاعدية القوية نموذج 2 (راتين أميني رباعي عديد الستايرين يحتوي على مجموعات الألكيل والألكانول في التركيب الرباعي) .	حبيبات كروية مصفرة	16 – 50	43 – 45
مبادل الأنيونات ذو القاعدية الوسطية (راتين أميني أليفاتي)	حبيبات صفراء	16 – 50	20
مبادلات الأنيونات القاعدية الضعيفة (راتين أميني أليفاتي)	حبيبات بنية محمرة	16 – 50	17

حجم النخل : ينخل الجزء الأكبر من مبادلات الأنيونات بشبكة 16 – 50 ميش مع نسب صغيرة جداً من مادة أكثر خشونة (10 – 16) أو أنعم (50 – 60) .

أوزان الثقل : تقوم أوزان الثقل على أساس حجوم الغسل الراجع والتجفيف ولا تتضمن حاويات الثقل .

أجهزة نزع المعادن : Demineralizing Systems

توضح الصورة 1 – 17 ترتيب المعدلات المستخدمة في تسعة نماذج من أجهزة نزع المعادن . وكما نلاحظ في هذه الرسوم البيانية ، يمثلH وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، وWB وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة (أو وحدة) مبادل الأنيونات ذات القاعدة الوسطية ، إذا استخدمت الصودا كمجدد ، وSB وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، وMB وحدة مبادلات كاتيونات السرير الممزوج ومبادلات الأنيونات ، DEG نازع الغاز (الذي هو النموذج الأوسع استخداماً من معدات نزع الكربنة) أو جهاز نزع الهواء الخوائي أو صهريج نزع الكربنة في بعض الحالات التي تعالج فيها كميات بسيطة من المياه.

وكذلك عندما يظهر DEG بخطوط منقطة في هذه الرسوم البيانية ، فمعنى ذلك أن استخدام نازع الغاز قد يسوغ وقد لا يسوغ . وبمعنى آخر ، تعتبر نازعات الغاز وسيلة اقتصادية لنزع جزء كبير من ثاني أكسيد الكربون المتشكل في المرحلة الأولية في مبادل كاتيونات الهيدروجين ، إضافة إلى محتوى ثاني أكسيد الكربون في الماء المعالج . ولكن إذا كان إجمالي كمية ثاني أكسيد الكربون في الماء المعالج . ولكن إذا كان إجمالي كمية ثاني أكسيد الكربون في صبيب المرحلة الأولى للجهاز من نموذج A ، لا يثير الاعتراض من أجل الاستخدام النهائي للمياه المنزوع المعادن ، عندئذٍ يمكن الاستغناء عن نازع الغاز .

الصورة 1 . 17

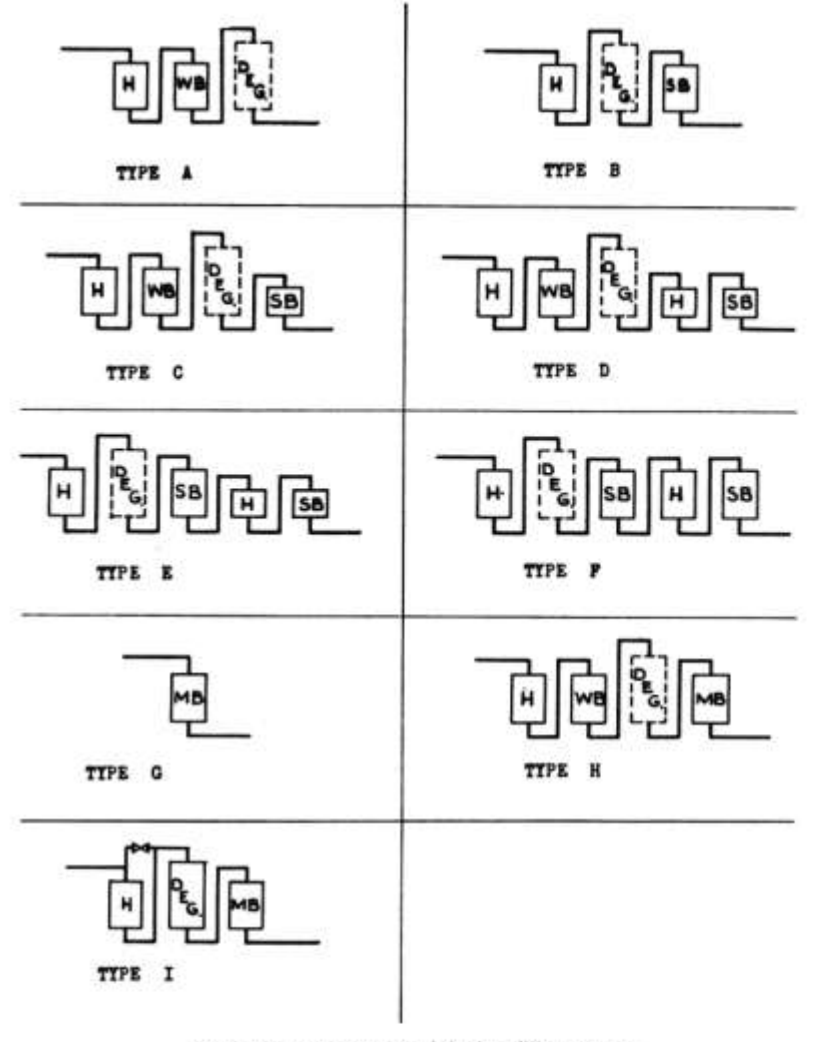


Figure 17-1. Arrangements of demineralizing systems.

H = Hydrogen Cation Exchange Unit　　SB = Strongly Basic Anion Exchange Unit
WB = Weakly Basic Anion Exchange Unit　　MB = Mixed-Bed Unit
DEG = Degasifier (Where degasifier shown dotted, it is optional depending upon amount of free CO_2 present from raw water or alkalinity breakdown in H unit.)

في أجهزة نزع المعادن من نماذج B أو C أو D أو E أو F أو H تستخدم نازعات الغاز كما أشرنا في الرسوم البيانية إذا كان ثاني أكسيد الكربون في صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين الرئيسي عالياً نسبياً لأن تكاليف التشغيل لإزالة الجزء

الأكبر من ثاني أكسيد الكربون آلياً اقتصادي أكثر من إزالته كيميائياً ، ولكن إذا كان ثاني أكسيد الكربون قليل نسبياً ، أو إذا كانت كمية الماء المعالج قليلة نسبياً أيضاً ، فيمكن الاستغناء عن نازع الغاز ويستخدم نازع الغاز عادة في الجهاز من النموذج I لأنه الوحيد الذي يستخدم مع المياه التي تحتوي على نسبة عالية من البيكربونات .

الجدول 2 – 17 قدرات مبادلات الأنيونات النموذجية

نموذج مبادلات الأنيونات	المجدّد(ليبرة/ قدم^2)	القدرات في الكغ قدم^3 مع كبريتات 0 – 100%					
		0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
النموذج 1 القاعدي القوي	2 ليبرة NaOH	5.8	6.2	6.5	7	7.3	7.6
	2.5 = =	6.6	7	7.4	8	8.3	8.6
	3 = =	7.5	7.9	8.4	9	9.4	9.7
	4 = =	8.7	9.2	9.8	10.5	10.9	11.3
	5 = =	9.6	10.1	11.2	11.5	12	12.4
	6 = =	10	10.6	11.2	12	12.5	13
النموذج 2 القاعدي القوي	3 = =	11.4	11.5	11.6	12	12.7	13.8
	4 = =	13.3	13.4	13.6	14	14.8	16.1
	5 = =	14.3	14.4	14.6	15	15.9	17.3
	6 = =	15.2	15.3	15.5	16	17	18.4
	8 = =	16.2	16.3	16.5	17	18	19.6
	10 = =	17.1	17.3	17.5	18	19.1	20.7
القاعدة الوسطية ppm	3.2 أو 4 أو 4.5 ليبرة NaOH	16	17.3	18.5	20	20.7	21.2

القاعدي الضعيف	Na_2CO_3 4.2	13.1	14.3	15.6	17	18.3	20.1

مع نموذج القاعدية الوسطية من مبادل الأنيونات . تستخدم عادة الصودا الكاوية للتجديد ، ليبرة / قدم^3 ،3.2 إذا كان محتوى ثاني أكسيد الكربون في الصبيب 10 ppm أو أقل ، و4 إذا كان 10 - 50 ppm ، و4.5 إذا كان 50 - 100 ppm .

ملاحظة :

لتفادي التكرار بلا طائل ، فإن عبارة " نازع الغاز " في المقطع التالي سوف تستخدم حصراً لأي نموذج من المعدات التي قد تستعمل لإزالة ثاني أكسيد الكربون بالوسائل الآلية .

يعتمد اختيار الجهاز الذي ينبغي استخدامه من بين هذه الأجهزة التسعة في أية حالة خاصة على تركيب الماء الذي سيعالج ، ونوعية الصبيب المطلوب في الاستخدام النهائي وتكاليف التشغيل وتكاليف رأس المال فمثلاً ، إذا لم يكن مطلوباً إزالة السيلكا ، فسيكون الجهاز من النموذج A اقتصادياً أكثر .

ويستخدم واحد من الأجهزة الأخرى إذا كانت إزالة السيلكا مطلوبة . ويمكن استخدام الجهاز من النموذج B البسيط نسبياً ، حيث نحتاج إلى إزالة السيلكا إضافة إلى نزع المعادن ولكن إذا كانت مكونات الحموضة المعدنية النظرية نسبة أساسية من إجمالي الأنيونات في الماء ، عندئذٍ سيقدم الجهاز من نموذج C تكاليف تشغيل أدنى من الجهاز من نموذج B ، لأن إزالة الحموضة المعدنية النظرية بمبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة اقتصادي أكثر من إزالتها بمبادل الأنيونات القاعدية القوية . وإذا كان المطلوب إزالة الكهارل على نحو أكثر اكتمالاً مما يمكنه أن ينتج جهاز النموذج B أو C عندئذ يجب استخدام واحداً من أجهزة النماذج D أو E أو G أو H أو I . يستخدم كل من النموذجين D - E وحدتي صقل ، أما النموذج D فمن أجل الماء الذي تشكل فيه الحموضة المعدنية النظرية نسبة أساسية من إجمالي الأنيونات ، ولذلك يستخدم مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة في المرحلة الثانية ، في حين يستخدم النموذج E بصورة طبيعية مع المياه التي تؤلف فيها الأنيونات القلوية نسبة عالية من إجمالي الأنيونات ،

ويستخدم مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة في المرحلة الثانية . والنموذج F شبيه بالنموذج E إلا بما يتعلق بالحجوم الكبيرة للوحدتين الأخريتين وجهاز تشغيلهما التبادلي .

يمكن استخدام G أو H أو I من أجل المحتوى الأدنى من الكهارل . وتكاليف التشغيل بمزج الأسرة أعلى مما هي عليه في الأجهزة الأخرى ، ولكن يمكن تخفيفها بالمعالجة الدقيقة المسبقة . يمكن تخفيف الحمل على السرير الممزوج إلى حد كبير في الأجهزة من نماذج I و H كما يلي :

يستخدم الجهاز من النماذج H بصورة طبيعية ، مع المياه التي تشكل فيها أنيونات الحموضة المعدنية النظرية نسبة أساسية من إجمالي محتوى الأنيونات ، ويتألف الجهاز عادة من وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، ومبادل أنيونات قاعدية ضعيفة ، ونازع غاز (إذ كان استخدامه مبرراً) قبل وحدة السرير الممزوج . وفي تعديل هذا الجهاز الذي يستخدم عندما يحتوي الماء الخام على نسبة أساسية من الأنيونات القلوية ، فقد تسبق وحدة السرير الممزوج وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، ونازع غاز ، ووحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية . يمكن استخدام جهاز I مع المياه التي تشكل فيها الأنيونات القلوية نسبة عالية من إجمالي الأنيونات . وتتألف مجموعة المعدات في هذا الجهاز من وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، ونظام جانبي يمزج مباشرة ما يكفي من الماء الخام مع صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين لمعادلة كمية صغيرة من الحموضة المعدنية الموجودة فيه ، ووحدة سرير المزج .

تجهز أجهزة المعادن من أجل :

(1) التشغيل الآلي الكامل ، أو (2) تشغيل نصف آلي , أو (3) تشغيل يدوي تستخدم أدوات التوصيل الكهربائي لتحديد مراحل انتهاء أشواط التشغيل ، والشطف ، الخ ولكن تستخدم من أجل حمض السليسيك المفكك الضعيف طرق تحليلية

خاصة . ومع استخدام توصيل كهربائية كالإندترول Enditrol ، التي لا تحدد توصيلة الصبيب النهائي ، ولكن توصيلة مصعد التيار تقريباً ، أي أنها عند مستوى أعلى من قاع سرير المبادل ، تخفف عن شوط التشغيل صعوبة عدم القدرة على كشف السيلكا بتوصيلتها الكهربائية .

النموذج A . المرحلة الثانية مع مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة :

Type A - Two Step With Weakly Basic Anion Exchanger

يستخدم جهاز نزع المعادن من النموذج A على نطاق واسع لنزع معادن مياه معالجة التي لا تتطلب إزالة السيلكا وتستعمل الأجهزة التي تستخدم مبادلات الأنيونات القاعدية العالية لمياه تغذية المراجل أو لمياه المعالجة التي تستلزم إزالة السيلكا إضافة إلى إزالة المادة الأخرى المعدنية .

يجري الماء نزولاً في المرحلة الأولى من شوط التشغيل عبر وحدة مبادل كاتيونات للهيدروجين ، الذي يزيل الكاتيونات عن طريق تبادلهم مع الهيدروجين فيؤدي هذا إلى تشكل أحماض معدنية متأنية بقوة من محتويات الكبريتات و/ أو الكلوريدات و/ أو النترات الموجودة في الماء ، وحمض الكربون المتأين على نحو ضعيف من البيكربونات و/ أو قلوية الكربونات الموجودة (يتحلل حمض الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون وماء) ، وحمض السليسيك التأين على نحو ضعيف .

وفي المرحلة الثانية ، يجري الصبيب من المرحلة الأولى نزولاً عبر وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة التي تزيل الأحماض المعدنية المتأينة بشدة لكنها لا تزيل محتويات ثاني أكسيد الكربون من صبيب المرحلة الثانية بواسطة نازع الغاز إلى ثمالة بسيطة (أقل من أو 10 ppm حسب المطلوب) وهنا يتم تفريغ الصبيب المنزوع الكربون من قاع نازع الغاز إلى حوض إيقاف ومنه يضخ إلى الخدمة واعتماداً على تركيب الماء الخام ومستوى التجديد في مبادل كاتيونات الهيدروجين ، سيزيل جهاز نزع المعادن هذا ، بصورة طبيعية ، الكهارل نزولاً إلى ثمالة 10 ppm - 2 ويمكن كما لاحظنا إنقاص محتوى ثاني أكسيد الكربون إلى

ثمالة أقل من 10 ppm - 5 حسب المطلوب وسيكون محتوى السيلكا نفسه كما في الماء الخام .

الصورة 2 . 17

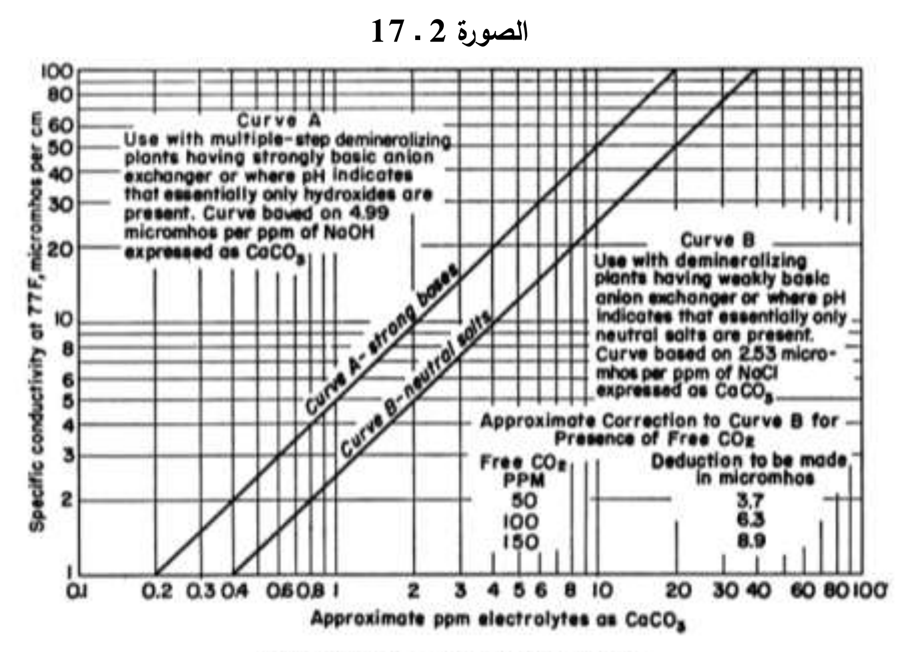


Figure 17-2. Electrical conductivity curves.

ملاحظة :

يمكن أن يكون مبادل الهيدروجين من نموذج كاتيونات الهيدروجين من نموذج الراتينات العديدة الستايرين ذات القدرة العالية أو من النموذج الكربوني ويمكن استخدام مبادل الأنيونات الذي يستخدم على نطاق واسع، هو من النموذج القاعدي الضعيف الذي يجدد برماد الصودا ، ولكن في بعض الحالات يمكن استخدام مبادل الأنيونات القاعدية الوسيطة الذي يجدد برماد الصودا ويمكن الاستغناء عن نازع الغاز إذا كان إجمالي محتوى ثاني أكسيد الكربون للصبيب من مبادل كاتيونات الهيدروجين لا يثير الاعتراض .

وفي نهاية شوط التشغيل يغسل سرير مبادل كاتيونات الهيدروجين رجوعياً ويجدد بحمض معدني مخفف (حمض الكبريت عادة ، ولكن يمكن استخدام حمض كلور الماء بدلاً منه) ، ويشطف لتخليصه من النواتج الثانوية الطليقة (بصورة رئيسية كبريتات أو كلوريد الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم إذا استخدم حمض كلور الماء) وزيادة الحمض ويعاد إلى الخدمة ، ويغسل مبادل الأنيونات رجوعياً ويجدد بمحلول رماد الصودا ، ويشطف لتخليصه من النواتج الثانوية الذوابة

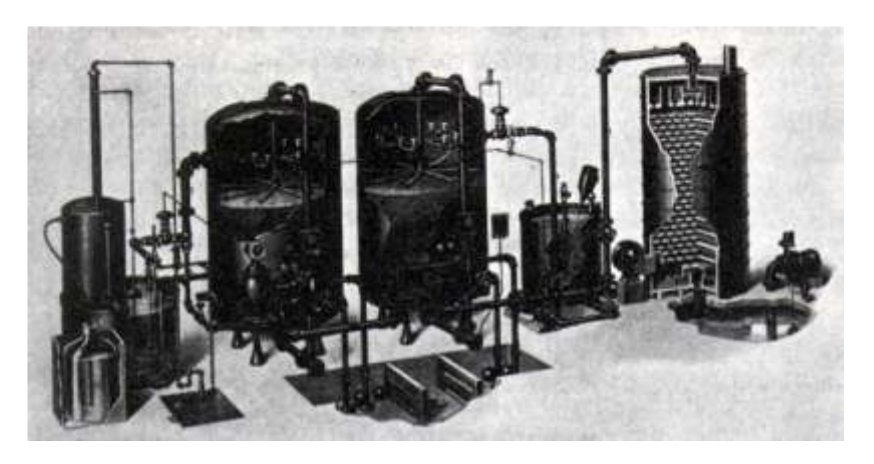
(كبريتات الصوديوم و/ أو الكلوريد و/ أو النترات) ، وزيادة رماد الصودا ويعاد إلى الخدمة .

النموذج B . المرحلة الثانية مع مبادل الأنيونات القاعدية القوية :
Type B - Two With Highly Basic Anion Exchanger

تنجز المرحلة الأولى في هذا الجهاز بالطريقة نفسها والنتائج نفسها ، وبطريقة التجديد نفسها عند نهاية شوط التشغيل كما وصفنا تحت عنوان الجهاز من النموذج A وبعدئذٍ يعبر الصبيب من المرحلة الأولى نازع غاز ، ولكن إذا كانت كمية ثاني أكسيد الكربون في الصبيب صغيرة يمكن الاستغناء عن نازع الغاز فإذا استخدم نازع الغاز يضخ صبيبه عبر الخطوة الثانية وإذا حذف نازع الغاز فإن ضخه لا يغدو لازماً ويجري الصبيب من الخطوة الأولى عبر الخطوة الثانية تحت ضغطه الخاص.

تحدث المرحلة الثانية في وحدة مبادل الكاتيونات القاعدية القوية التي تحتوي على سرير النموذج 1 أو 2 لمبادل الأنيونات القاعدية القوية الذي يزيل الأحماض المعدنية الشديدة التأين (أحماض الكبريت أو كلور الماء و/ أو الآزوت) ، والأحماض الضغطية التأين (حمض الكربون وحمض السليسيك) . وعند نهاية شوط التشغيل يغسل سرير مبادل الأنيونات القاعدية رجوعياً ويجدد بمحلول الصودا الكاوي ، ويشطف لتحرير من النواتج الثانوية (كبريتات الصوديوم والكلوريد ، والنترات ، والكربونات , والسيلكات) . ويعاد إلى الخدمة .

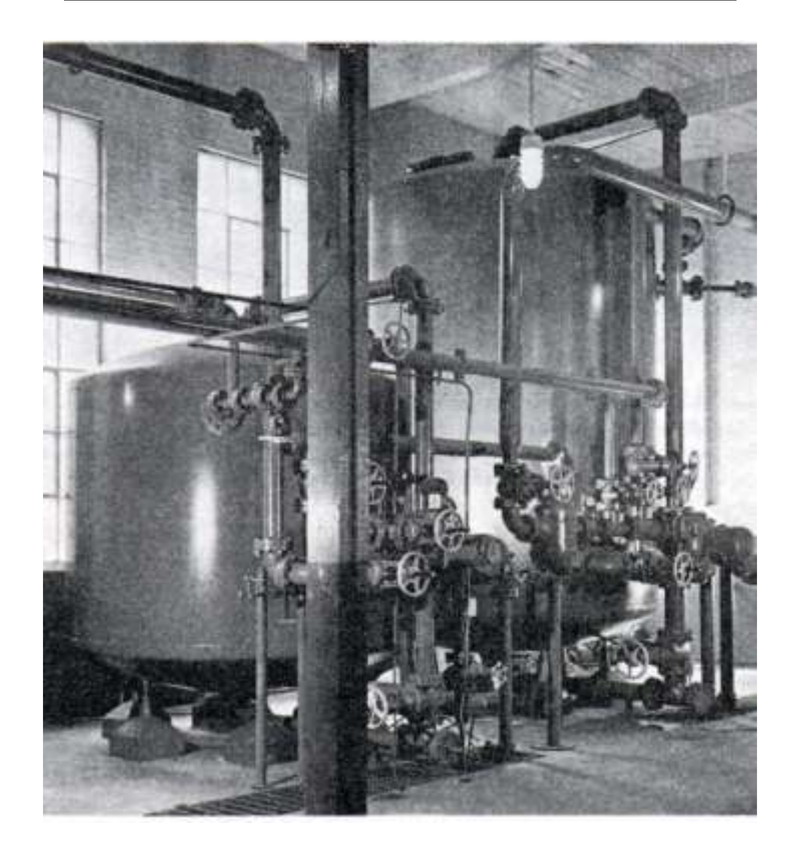
الصورة 3 . 17



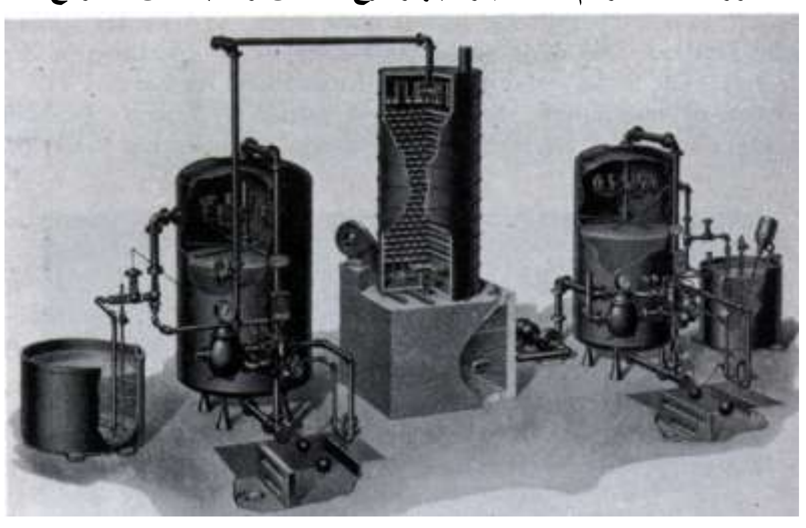
من اليسار إلى اليمين : (1) دمجانة الحمض ، (2) صهريج مجدد الحمض المخفف مع صهريج كونكريتي لقياس الحمض فوقه ، (3) وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، (4) وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة (5) أداة التوصيل الكهربائي ، (6) صهريج مجدد رماد الصودا ، (7) نازع غاز فوق صهريج الصبيب .

إن أجهزة نزع المعادن من النموذج B التي تعتمد على تركيب الماء الخام ومستوى مادة التجديد في مبادل كاتيونات الهيدروجين سوف تخفض بصورة طبيعية إجمالي الجوامد إلى ثمالات ppm 10 - 2 وسوف تخفض السيلكا إلى 0.02 - 0.15 ppm ، اعتماداً على محتوى السيلكا في الماء الخام ونموذج مبادل الأنيونات القاعدية القوية المستخدم وما إذا كان مجدد الصود الكاوي مسخناً قبل الاستخدام أم لا .

الصورة 4 . 17 النموذج A



الصورة 5 . 17 رسم غسل أبتر لجهاز نزع المعادن والسيلكا من النموذج B



النموذج C المرحلة الثالثة باستخدام مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية والقاعدية القوية :

Type C - Three Step using Weakly Basic and Strongly Basic

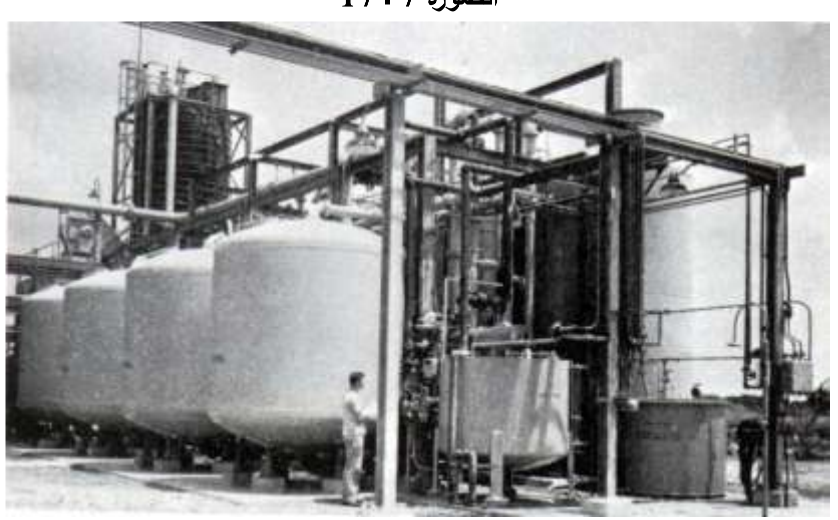
يستخدم جهاز نزع المعادن وإزالة السيلكا من نموذج C مع المياه التي تشكل فيها الأنيونات الشديدة التأين (كبريتات و/ أو كلوريد و/ أو نترات) نسبة أساسية من إجمالي الأنيونات . وتتألف المعدات من مبادل كاتيونات الهيدروجين من النموذج الكربوني أو الراتيني المتعدد الستايرين العالي القدرة ، وتستخدم بصورة طبيعية وحدة (WB) مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية ويستخدم في آخر مرحلة مبادل الأنيونات القاعدية القوية نموذج I .

يجري الماء أولاً عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين (المرحلة الأولى) وبعده عبر مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية (المرحلة الثانية) ، ثم عبر مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، عند عدم استخدام نازع الغاز وعند استخدام نازع الغاز يمر الماء من المرحلة الأولى عبر نازع الغاز . ثم يضخ المرحلتين 2و3 وبانتهاء شوط التشغيل يجدد مبادل كاتيونات الهيدروجين بالطريقة المعتادة . تغسل رجوعياً وحدتا مبادل الأنيونات أولاً ثم يجدد الأنيونات القاعدية القوية الوسطية بمحلول الصودا الكاوية الذي يمر أولاً عبر مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، وثانياً عبر مبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية فإذا سخنت مادة الصودا الكاوية المجددة قبل استخدامها في وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، فإنها يتم تبريدها بالتخفيف قبل عبورها وحدة مبادل الأنيونات ذي القاعدة الوسطية . وعندئذٍ تشطف الوحدتان وتعادان إلى الخدمة الصبيب من جهاز النموذج C من النوعية نفسها لصبيب الجهاز من النموذج B لكن تكاليف التشغيل أقل .

الصورة 6 . 17



الصورة 7 . 17



مبادلات الأنيونات القاعدية الضغطية والقوية للمرحلة الرابعة من النموذج D :

Type D - Four Step, Weakly Bask and Strongly Basic Anion Exchangers

جهاز نزع المعادن والسيلكا من النموذج D مشابه للجهاز من النموذج C في كونه يستخدم مع المياه التي تشكل فيها الأنيونات الشديدة التأين النسبة من إجمالي الأنيونات ووحدة WB التي تستخدم في المرحلة الثانية هي وحدة مبادل

الأنيونات ذي القاعدية الوسيطة ، ويجري تجديد التيار المعاكس لوحدات مبادل الأنيونات بالطريقة نفسها ويختلف في كون وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين الثانية تستخدم قبل وحدة مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة .و لذلك فإن وحدة مبادل كاتيونات الثانوية تزيل تسرب الكاتيونات تماماً ، إلى حد ما أن الصبيب من المرحلة الرابعة لا يحتوي عادة على أكثر من 1 ppm من إجمالي الجوامد وفيما يتعلق بمحتوى السيلكا في الصبيب أي ضمن المدى نفسه كالصبيب من النموذج B والنموذج C .

تكون المرحلة الأولى عبر الوحدة الأولى من مبادل كاتيونات الهدروجين ، والخطوة الثانية لمبادل الأنيونات ذي القاعدية الوسطية ، والمرحلة الثالثة عبر الوحدة الثانية لمبادل كاتيونات الهدروجين ، والمرحلة الرابعة عبر وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية عند استخدام نازع غاز ، يوضع بين الوحدات المستخدمة في المرحلتين الأولى والثانية . وفي نهاية شوط التشغيل تغسل الوحدات رجوعياً وتجدد وحدتا مبادل الأيونات بتيار عكسي بالصودا الكاوي كما وصفنا تحت عنوان النموذج C وفيما يتعلق أيضاً بوحدات مبادل الهيدروجين ، فإنها تجدد أيضاً بعد الغسل الراجع بالتيار المعاكس فيمر أولاً المجدد الحمضي عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين الثانوي ، وبعدئذ عبر مبادل كاتيونات الهيدروجين الأولى .

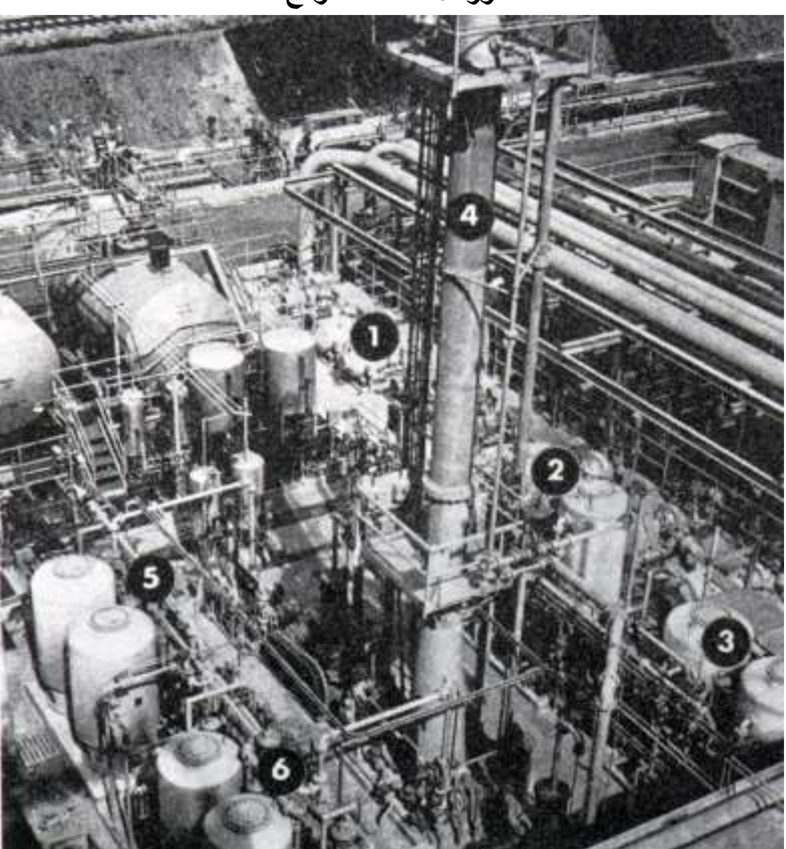
وحدات الصقل ذات المراحل الأربع . النموذج E

Type E - Four Step Using Polishing Units

جهاز نزع المعادن والسيلكا من النموذج E هو جهاز ذو أربع مراحل يستخدم في المرحلة الأولى وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، وفي المرحلة الثانية وحدة مبادل الأنيونات القاعدية القوية ، وفي المرحلة الثالثة وحدة صقل مبادل كاتيونات الهيدروجين ، وفي المرحلة الرابعة وحدة صقل مبادل الأنيونات القاعدية القوية . يستخدم هذا الجهاز على نطاق واسع ولكن ليس بصورة حصرية ، مع المياه التي تشكل فيها الأنيونات القلوية جزءاً أساسياً من إجمالي الأنيونات ، وفي

معالجة هذه المياه ، يستخدم نازع الغاز بين المرحلتين الأولى والثانية: عندما يستخدم هذا الجهاز مع المياه التي تحتوي على كمية قليلة من القلوية يمكن الاستغناء عن نازع الغاز .

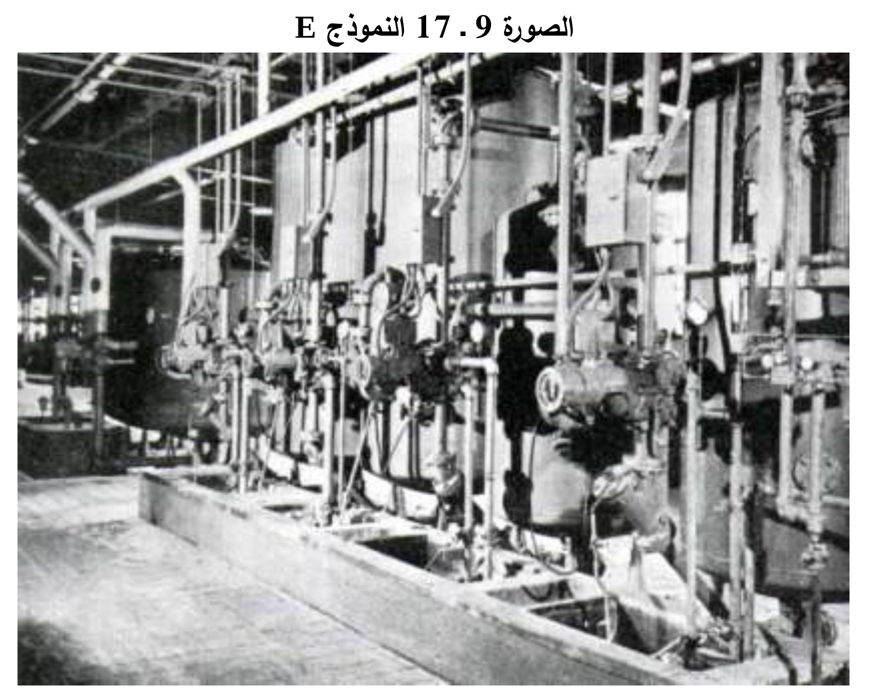
الصورة 8 . 17 النموذج D



ومن الواضح أنه طالما يزال في كلتا الحالتين جرم الكاتيونات والأنيونات في المرحلتين الأوليتين ، فإن الحمل على الوحدات المستخدمة في المرحلتين الثالثة والرابعة يكون بسيطاً جداً ولذلك تحتوي وحدات على أسرة أصغر مما هي عليه في الوحدات الأولية ويمكن تشغيلها بمعدلات جريان أعلى مما هي عليه في الوحدات الأولية ويمكن استخدامها لمعالجة الدفق من مجموعة الوحدات الأولية ولا تحتاج

إلى التجديد في كل مرة تجدد فيها الوحدات الأولية وعند تجديدها إذا أردنا بعض التوفير بكميات مواد التجديد فيمكن ذلك عن طريق تجديد وحدة صقل مبادل الأنيونات مع وحدة مبادل الأنيونات الأولي ويكون إجمالي الجوامد في صبيب الجهاز من النموذج E ‏1 ppm أو أقل والسيلكا ضمن المدى نفسه كما في صبيب الجهاز من النموذج B .

الصورة 9 . 17 النموذج E



السلسلة المتناوبة ذات المراحل الأربع . نموذج F :

Type F- Four Step Alternating Series

يختلف جهاز نزع المعادن وإزالة السيلكا نموذج F عن الجهاز من نموذج E . في أن وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين التي تستخدم في المرحلة الثالثة ، تكون من الحجم نفسه كالوحدة المستخدمة في المرحلة الأولى ، و أن مبادل الأنيونات القاعدية القوية التي تستخدم في المرحلة الرابعة ، تكون من الحجم نفسه كالوحدة المستخدمة الثانية ، وأن زوج الكاتيونات والأنيونات يتناوب العمل في وضعية

مصعد التيار ، وأن معدلات المستخدمة هي نفسها في جميع الوحدات . وفيما يتعلق بنوعية الصبيب من هذا الجهاز ، هي النوعية نفسها للجهاز من النموذج E وبما أن هذا الجهاز يستخدم ، بصورة طبيعية مع المياه التي تشكل الأنيونات القلوية فيها النسبة الأساسية من إجمالي الأنيونات ، يستخدم نازع الغاز عادة بين أي زوج من الوحدات يكون في وضع مصعد التيار . وإذا كان محتوى القلويات قليلاً ، يمكن الاستغناء عن نازع الغاز . وإذا أخذنا بعين الاعتبار جهاز النموذج E ،الذي يستخدم فيه نازع الغاز ، ورقمنا الوحدات التي فيها الخطوات الأولى ، والثانية ، والثالثة ، والرابعة كوحدات رقم^{1} ، ورقم^{2} ، ورقم^{3} ، ورقم^{4} ، فإن الماء يمر أولاً عبر الوحدة رقم^{1} ، ثم عبر نازع الغاز ، ثم على التوالي عبر الوحدات رقم^{2} ، ورقم^{3} ، ورقم^{4} .

وبما أن الحمل أثناء شوط التشغيل ، يصبح خفيفاً على الوحدتين رقم^{3} ورقم^{4} فإن مقداراً قليلاً جداً من طاقتها الكبيرة يستهلك لإنهاء شوط التشغيل في الوحدتين رقم^{1} ورقم^{2} ولذلك وأثناء الفترة الفاصلة ، أثناء الغسل الوحدتين رقم^{1} ورقم^{2} رجوعياً وتجديدهما ، وشطفهما ، وإعادتهما للعمل تقوم الوحدتان رقم^{3} ورقم^{4} بتحمل العبء ، لأن الشبكة والصمامات منظمة بحيث يدخل الماء القادم أولاً الوحدة رقم^{3} وبعد يمر عبر نازع الغاز ، ثم عبر الوحدة رقم^{4} ، ثم إلى الخدمة . وعند تعاد الوحدتان رقم^{1} ورقم^{2} إلى الخدمة ، فإنهما تستخدمان لإنجاز المرحلتين الثالثة والرابعة من العملية .

وعندما تصل الوحدتان رقم^{3} ورقم^{4} إلى نهاية شوط تشغيلهما ، تفصلان من الخدمة ، وتجددان وخلال هذه الفترة الفاصلة تشغّل بينهما الوحدتان رقم^{1} ورقم^{2} مع نازع الغاز للقيام بكامل العبء . وعندما تعاد الوحدتان رقم^{3} ورقم^{4} إلى الخدمة ، فإنهما تتخذان وضعهما الأصلي في إنجاز المرحلتين الثالثة والرابعة من العملية وبهذه الطريقة تؤمن أجهزة النموذج E خدمة متواصلة . يمكن أن تكون مبادلات

كاتيونات الهيدروجين المستخدمة في الجهازين من نموذج E ونموذج F من نموذج الراتينات العديدة الستاترين ذات القدرة العالية أو من النموذج الكربوني ، ويمكن أن تكون مبادلات الأنيونات القاعدية القوية من النموذج 1 أو النموذج 2 .

السرير الممزوج . النموذج G : Type G - Mixed Bed

يتألف السرير في أجهزة نزع المعادن من نموذج G من مزيج متآلف من مبادل كاتيونات الهيدروجين من نموذج الراتينات العديد الستايرين ذات القدرة العالية ومبادل الأنيونات القاعدية القوية من النموذج 1 أو 2 . فعندما يجري الماء عبر هذا السرير يحصل على وفرة كبيرة من التلامسات المتناوبة مع مبادل كاتيونات الهيدروجين وجزيئات مبادل الأنيونات القاعدية القوية .

ولذلك فإن وحدة السرير المختلط سواء استخدمت وحدها أو كوحدة صقل ، تحدث إزالة كاملة للكهارل إلى حد أن إجمالي الجوامد في الصبيب يكون أقل من 1 ppm وفيما يتعلق بإزالة السيلكا ، فإنها تنخفض إلى المدى نفسه الذي تصل إليه في جهاز B ولكن تكاليف التشغيل تكون أعلى منها في الأجهزة الأخرى ، ويمكن خفضها باستخدام السرير المختلط في وحدة الصقل أو بالمعالجة المسبقة للمياه الخام . وفي نهاية شوط التشغيل يجب فصل كاتيونات الهيدروجين ومبادل الأنيونات القاعدية القوية في السرير المختلط قبل إمكانية تجديده . ويحدث هذا الفصل عن طريق ضبط معدل الغسل الراجع ، الذي يفصل بسبب انخفاض الوزن النوعي لمبادل الأنيونات السرير المختلط إلى سرير أعلى لمبادل الأنيونات وسرير أدنى لمبادل الكاتيونات ، كما يظهر في الصورة 10 − 17 .

الصورة 10 . 17 السرير الممزوج . النموذج G

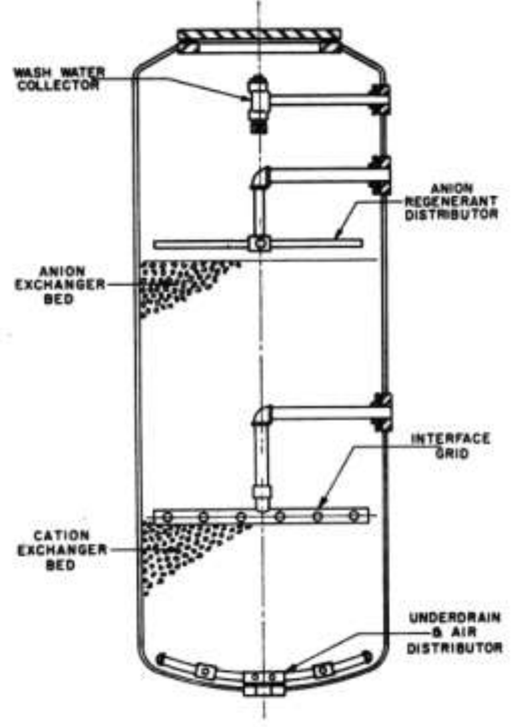
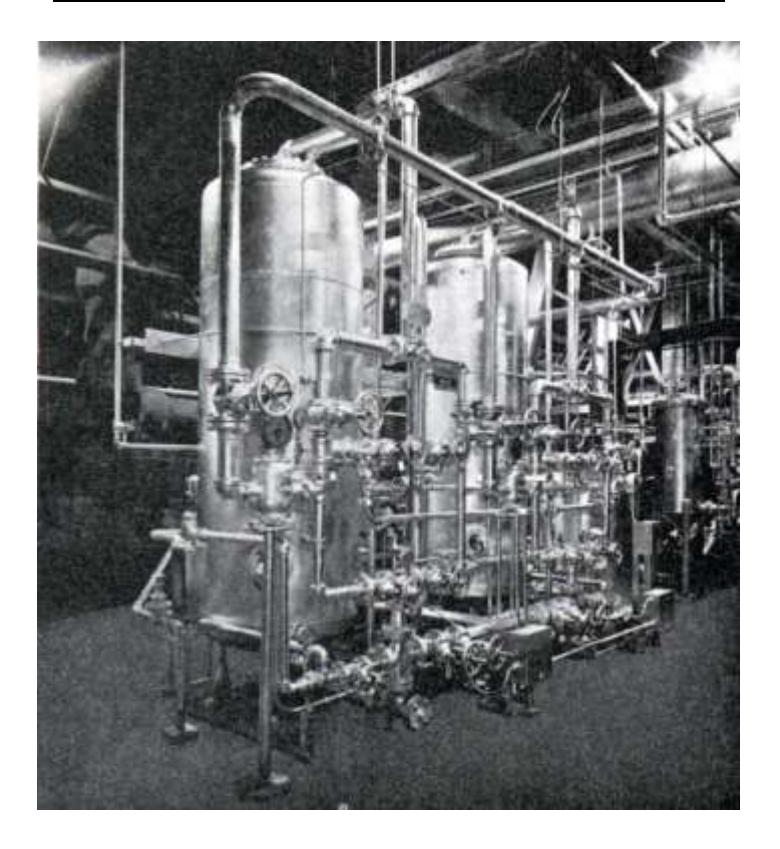


Figure 17-10. Type G. Mixed bed unit showing cation and anion beds separated for regeneration.

وفي طريقة للتجديد يتم تجدد الأسرة المنفصلة في الوحدة نفسها ، إما سرير واحد في كل مرة أو كلا السريرين في وقت واحد ، بمجدد حمضي لمبادل الكاتيونات ، وبمجدد الصودا الكاوية لمبادل الأنيونات ، وتمر المياه عبر شبكة بينية . وبعد شطف الأسرة لتخلصها من النواتج الثانوية الذوّابة وزيادة مواد التجديد ، ويدفع تيار هوائي عبرها صعوداً بواسطة موزع الهواء لإنتاج مزيج متآلف من مبادلي الكاتيونات والأنيونات، وتعاد الوحدة بعد ذلك إلى الخدمة . وتنجز طريقة أخرى للتجديد عن طريق القيام أولاً بفصل السرير المختلط بضبط الغسل الراجع ، كما وصفنا أعلاه ، وسحب لوحده من الوحدة بوسيلة هيدرولية عادة ، وتجديد كل سرير وشطفه منفصلاً ، وإعادة الأسرة ومزجها في الوحدة قبل إعادتها إلى الخدمة .

الصورة 11 . 17 النموذج G



مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة نموذج H إضافة لسرير صقل مختلط :

Type H - Two Step With Weakly Basic Anion Exchanger Plus Polishing Mixed Bed

وإزالة السيلكا نموذج H مع المياه التي تشكل فيها أنيونات الحموضة المعدنية النظرية نسبة أساسية من إجمالي الأنيونات تنجز المرحلة الثانية في مبادل الأنيونات القاعدية الضعيفة (أو مبادل أنيونات ذي قاعدة وسطية) ، ويمكن استخدام نازع غاز إذا لزم الأمر ، وتنجز المرحلة الثالثة في وحدة صقل ذات سرير مختلط وبما أن الجزء الأكبر من الكهارل يزال في المرحلتين الأوليتين ، يكون الحمل على وحدة الصقل ذات السرير المختلط طفيفاً ، حيث يتألف فقط من تسرب الكاتيونات ، والسيلكا وكمية بسيطة من ثاني أكسيد الكربون . ومن هنا تكون تكاليف التشغيل أدنى مما هي عليه في جهاز النموذج G . يمكن استخدام تعديل على هذا الجهاز مع المياه التي تشكل فيها الأنيونات القلوية نسبة أساسية

من إجمالي نسبة أساسية من إجمالي الأنيونات يستخدم في هذا التعديل مبادل الأنيونات القاعدية القوية ويتألف الجهاز من وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين ، ونازع الغاز ، ووحدة مبادل أنيونات قاعدية قوية ، ووحدة صقل ذات سرير مختلط .

مبادل كاتيونات الهيدروجين نموذج I ذو المجرى الجانبي يليه نازع غاز وسرير مختلط :

Type I - Hydrogen cation Exchanger With Bypass , Followed by Degasifier and Mixed Bed

جهاز نزع المعادن وإزالة السيلكا نموذج I مناسب للمياه التي تشكل فيها الأنيونات القلوية نسبة عالية من إجمالي نزع المعادن ولذلك يستخدم نازع الغاز في هذا الجهاز دائماً في المرحلة الأولى ، تمر معظم المياه عبر وحدة مبادل كاتيونات الهيدروجين المزودة ، بمجرى جانبي ، بحيث يمكن لجريان موجه بسيط أن يعبر الوحدة ويمتزج مع صبيبها يجب أن يكون جريان الماء الخام المستخدم على هذا النحو ، كافياً فقط بحيث يعادل محتواه القلوي الكمية البسيطة نسبياً من الحموضة المعدنية في صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين .

من أجل التشغيل الفعال يجب أن يكون محتوى هذا المزيج من الناحية العلمية صفراً من الحموضة والقلوية وعندئذٍ يعبر المزيج نازع الغاز ، الذي يخفف محتوى ثاني أكسيد الكربون الإجمالي (الذي يتشكل في مبادل كاتيونات الهيدروجين إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون المتشكل في التعادل ومحتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق في المياه الخام) إلى ثمالة بسيطة وتنجز المرحلة الثانية في وحدة السرير المختلط ، التي تزيل الكمية البسيطة نسبياً من الكهارل ، و السيلكا وثمالة ثاني أكسيد الكربون نوعية الصبيب كنوعيته من أجهزة النموذج G وتكاليف التشغيل أدنى لأن القلوية ومعظم ثاني أكسيد الكربون التشكل منها ، تكون أزيلت من الماء قبل أن يدخل وحدة السرير المختلط .

الصورة 12 . 17 النموذج I



التقطير : Distillation

مُورس التقطير كطريقة لتخليص السوائل الطيارة من الشوائب غير الطيارة على مدى قرون وكان معروفاً جيداً ، كما عملت الكتابات على تغطيته بصورة حسنة ولكن الأوصاف التالية التي تنطبق على تنقية المياه ستكون موجزة إلى حد ما . نوعية المياه المقطرة ممتازة ، ليس لأن الأملاح الشديدة التأين تنخفض إلى كميات قليلة جداً فقط بل أيضاً لأن حمض السليسيك المتفكك الضعيف يزال بالتقطير . نظرياً يجب أن تزال بالتقطير كافة الشوائب الطيارة ، ولكن في الممارسة ، تبقى في القطارة كمية بسيطة من الأملاح ويعزى هذا الاحتفاظ بكمية زهيدة و/ أو إلى تسرب المكثف ، وقد تتراوح هذه الكمية 3 ppm - 2 إلى ما يزيد عن 20 ppm ويؤثر في النتائج تصميم المعدات ونوعية مياه التغذية وتراكيز الأملاح ، وطريقة التصريف (يدوية أو مستمرة) ، وأحكام المكثفات والظروف

الأخرى للتشغيل وقد أدرجنا في الجدول 3 – 17 كميات الأملاح غير الطيارة التي وجدت في سلسلة من العينات من ماء مقطر للتجارة .

التقطير مكلف إلى حد ما مقارنة بالطرق الأخرى لمعالجة الماء كتيسير الماء بالزيوليت ، أو بمبادل كاتيونات الهيدروجين ، أو طريقتين الجير الباردة أو الساخنة ولكن تختلف التكاليف ضمن مدى واسع جداً اعتماداً على نموذج المبخرّ (المِقطَر) المستخدم أي عدد الوحدات وما إذا كان من أجل مياه المعالجة أو من أجل نسبة بسيطة من مياه الإعاضة ، واتزانات الحرارة فستكون تكاليف التقطير أقل بكثير منها عندما لا يمكن استرداد هذه الوحدات الحرارية .

أعلى كلفة تقطير مياه المعالجة بمبخر من وحدة مفردة عندما يمكن فقط استرداد تلك الوحدات الحرارية اللازمة لتسخين الإعاضة للمبخر . ولتسخين ليبرة واحدة من الماء من 60° – 212 ف ، نحتاج إلى 152 وحدة حرارية بريطانية ، ولكن الحرارة الكامنة لتحويل هذه الليبرة من الماء بدرجة 212° ف إلى بخار بدرجة 212° ف تقارب ستة أضعاف ونصف 970 درجة حرارة بريطانية هذه وهي حرارة أعلى بكثير مما يمكن الإفادة منها لتسخين ليبره واحدة أخرى من مياه الإعاضة من 60° إلى 212° ف ، وبالتالي إذا لم يكن هناك استخدام آخر لهذه الزيادات في درجة الحرارة البريطانية/ فيجب أن تمتص وتبدد في مياه التبريد ، لأن الوحدات الحرارية الزائدة في النموذج التقليدي للمبخّر ذي الوحدة المفردة لا يمكن استخدامها لتأمين الحرارة الكامنة اللازمة لتبخر هذه الليبرة الثانية من الماء .

الجدول 3 – 17 التقطير : المديات في المحتويات المعدنية لعدد من المياه المقطرة التجارية

المعادن	المدى $ppm / CaCO_3$
العسرة	15 – 0
القلوية	18– 2
الكبريتات	6 – 0
الكلوريدات	5 – 0

إجمالي الأملاح	3 – 12

ملاحظة : لأغراض طبية يعاد تقطير الماء المقطر وتقطر هذه القطارة من جديد ، ويعرف الناتج باسم الماء المثلث التقطير .

المبخرات العديدة الوحدات : Multiple - Effect Evaporators

يمكن إعادة استعمال أكثر الحرارة الكامنة عن طريق استعمال مجموعة مؤلفة من مبخرين أو ثلاثة أو أكثر ، مجهزة بحيث يتكثف بخار الماء من كل مُبخرّ ماعدا آخر مُبخرّ في السلسة ، في أنابيب التسخين ، وتشغل كل واحدة تالية تحت تفريغ أعلى من الوحدة التي قبلها ويكثف البخار من آخر وحدة في السلسلة في مكثف طبعاً وبهذه الطريقة يغلي الماء في كل وحدة تالية بدرجة أدنى من الوحدة التي سبقتها وبسبب هذه التفاوتات في درجات الحرارة يمكن إعادة استخدام الحرارة المنطلقة في الوحدة التالية . وتسمى مجموعة الوحدتين المستخدمة على هذا النحو بالمبخر المزدوج الوحدة ، ومجموعة الوحدات الثلاث بالمبخّر الثلاثي الوحدات ومجموعة الوحدات الأربع بالمبخر الرباعي الوحدات .

كلما كان عدد الوحدات أكبر كلما كانت تكاليف التشغيل أقل ومن الواضح أن عدد الوحدات لا يمكن أن يكون غير محدود لأنه يجب أن يكون تفاوتاً في درجة الحرارة في كل وحدة لضمان ننقل حراري كاف وتزداد أيضاً سرعة تكاليف المعدات مع عدد الوحدات وفي تقطير مياه المعالجة فإن المبخر ذي الوحدة المفردة والمزدوج الوحدة أكثر شيوعاً من المبخر الثلاثي والرباعي الوحدات .

نظريا إن ليبرة واحدة من البخار يجب أن تبخر ليبرة واحدة من الماء في المبخر الوحيد الوحدة و2 ليبرة في المبخر المزدوج الوحدة إلخ , أما في التطبيق العملي فإن ليبرة واحدة البخار تبخر عادة حوالي 0.9 ليبرة من الماء المبخر الوحيد الوحدة و1.7 ليبرة من الماء في المبخر المزدوج الوحدة و2.5 ليبرة في المبخر الثلاثي الوحدة .

مبخرات الضاغط البخاري : Vapor-Compressor Evaporators

رغم أن الكتب المدرسية ذكرت على مدى سنوات إمكانية إعادة استخدام الحرارة الكامنة في مبخر عن طريق رفع درجة حرارة التكثيف بضغط البخار واستخدام البخار المضغوط لغلي الماء في الوحدة نفسها فإن هذه الطريقة لم تستخدم عملياً إلى بعد مرور سنوات عديدة ويشغل وفقً لهذا المبدأ مقطر كلاين شميدت Schmidt–Klein الذي لاقى استخداماً واسعاً خلال الحرب العالمية الثانية لتقطير مياه البحر . عند بدء تشغيل هذه المعدات يستخدم أولاً مصدر خارجي للتسخين لغلي الماء في المقطر وعندما يتصاعد البخار من حجرة الغلي يعبر الضاغط الذي يضغطه بما يكفي لرفع درجة حرارته إلى أكثر من 225° ف وعندئذٍ يعبر هذا البخار المضغوط ملفات التسخين في حجرة الغلي بحيث يُسخن عند تكثيفه الماء ويغليه في الحجرة ويستخدم ناتج التكثيف الحار وهذا إلى حد أبعد في تسخين مياه التغذية التي تجري إلى حجرة الغلي نظرياً يجب أن يؤمن الضاغط عندئذٍ ما يكفي من الطاقة ليبقي المقطر شغالا ولكن في التطبيق العملي تستخدم عادة كمية بسيطة من الحرارة الخارجية .

تشكل القشرة في المبخرات : Scale Formation Evaporators

عند تقطير المياه العسرة في المبخرات يصبح تشكل القشرة غالباً مشكلة خطيرة فالتبريد السريع لملفات أو أنابيب التسخين عن طريق جريان الماء البارد خلالها ليس فعالاً دائماً في تفكيك القشرة وتنظيفها بحمض معالج ضروري دائما وتيسير مياه تغذية المبخرات للتخلص من القشرة ممارسة شائعة وعموماً يستخدم ميسر الزيوليت لتيسير هذه المياه .

استخدامات المياه المقطرة والمنزوعة المعادن

Uses Of Demineralized and Distilled Waters

في المصانع ذات مراجل الضغط العالي وفي عدد من المعالجات الصناعية يكون الماء الخالي عملياً من الشوائب المعدنية ضرورياً , ومع مياه المعالجة أيضاً ، هناك مجال واسع دائماً فيه البديل لهذه المياه من أجل النتائج المستخدمة سابقاً ، كتسخين الناتج وخفض التكاليف لدرجة كبيرة إلى حد تكون فيه الكلفة الإضافية أكثر من غير مبررة . إضافة إلى ذلك ، اكتشف أن هناك كثيراً من الاستخدامات الأخرى لهذه المياه ذات النوعية العالية ، كما في بعض مياه الشطف ، وبعض عمليات التبريد ، وترطيب المعدات ، وعدد من التطبيقات الأخرى ، وعموماً ، تقدم عملية نزع المعادن ، مع أكثر المواد العذبة الطبيعية من الماء ، تكاليف التشغيل أقل منها في التقطير . وباختيار الجهاز المناسب لنزع المعادن أيضاً ، يمكن الحصول عملياً على أي درجة تريدها في نقاوة المياه . ولذلك ، يمكن استخدام أجهزة النزع المعادن ، في مصانع الضغط العالي جداً ومصانع الطاقة النووية ، ليس فقط في تغذية مياه المراجل ، بل أيضاً في ناتج التكثيف ، ولكن التقطير ، مع المياه ذات المحتوى العالي من المادة المعدنية ، اقتصادي أكثر في تكاليف التشغيل من نزع المعادن .

إضافة إلى استخدامها في معالجة عدد من مياه تغذية المراجل ، تستخدم أجهزة نزع المعادن ، على نطاق واسع ، في معالجة عدد من مياه المعالجة ، التي تستخدم في تصنيع المواد الكيميائية الناعمة ، والمنتجات الصيدلانية ، واللدائن والخزفيات ، والمواد الحفازة ، والدهان ، ومواد التصوير الفوتوغرافي ، والمعدات البصرية والعوازل الكهربائية ، والمرايا ، والترانزستورات ، وإسترات السليولوز ، والقهوة الذوابة ، والأشربة ، ومواد التجميل والمتفجرات ، وحاشدات التخزين ، والآنية الفضية ، ومستحلبات زيت القطع للتبريد ، وقنوات التلفزيون ، والمطاط ومجموعة من عمليات التصنيع الأخرى ، وفي الطلي بالكهرباء ، كالطلي بالكروم مثلاً ، لا تستخدم فقط أجهزة المعادن المستخدمة في معالجة

المياه التي تستعمل في مغاطس الطلي ومغاطس الشطف ، بل تستخدم أيضاً مبادلات الكاتيونات الهيدروجين لإزالة مواد التلويث المعدنية الملتصقة من قبل مغطس الطلي ، وتستخدم مبادلات الأنيونات ،وبعدها مبادلات كاتيونات الهيدروجين لإزالة مواد التلويث المعدنية الملتصقة من قبل مغطس الطلي ، وتستخدم مبادلات الأنيونات ، وبعدها مبادلات كاتيونات الهيدروجين لاسترداد الكروم من مياه الشطف والهدر .

ملاحظة : تستخدم مبادلات الأيونات أيضاً لكثير من الأغراض الأخرى غير معالجة المياه من بينها فصل وتراكيز اليورانيوم ، واسترداد المعادن ، والاستخدامات الطبية والصيدلانية ، والعمل البيولوجي وأعمال البحث الأخرى ، والمواد الحفازة ، ومعالجة مياه الهدر واستخدامات أخرى كثيرة . شرحت هذه العمليات في عدة كتب ، أدرجناها في ثبت المراجع في نهاية هذا الفصل .

إزالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة إلى الملوحة

Desalting of sea water and brackish waters

يجري قدر كثير من البحث وعمل التطوير لتحويل مياه البحر والمياه الضاربة إلى الملوحة إلى مياه تناسب الاستخدام العام . وبما أنه قد تمت دراسة عدد من مختلف نماذج وتصاميم مصانع إزالة الملوحة ، كالمصانع الكاملة الحجم ، والوحدات الصناعية التجريبية ، والنماذج المختبرية ، تحصلت بسرعة معلومات قيمة فيما يتعلق بإمكانية استخدام مختلف طرق إزالة الملوحة ، والصعوبات التي يتوجب التغلب عليها وتكاليف التشغيل . وقلما يشدد في التأكيد على أهمية هذا العمل ، لأن هناك كثير من المناطق التي يوجد فيها مورد مائي لا ينضب من مياه البحر أو الموارد الغزيرة من المياه الضاربة إلى الملوحة ، ولكن حيث تكون موارد المياه الطبيعية العذبة قليلة أو تستنزف بسرعة . ومع إدراك هذا الأمر ، ابتدأ برنامج المعالجة الفيدرالي بتأسيس مكتب المياه المالحة في عام 1952 في واشنطن لدراسة هذه المشكلة الهامة ، وقدم مبلغ 2 مليون دولاراً لمشروع أمده 5

سنوات . وفي عام 1955 ارتفع هذا التفويض ليصل إلى 10 مليون دولاراً ، ومدة فترة البرنامج حتى عام 1963 .

شمل عمل هذا المكتب ، ليس فقط أهم دراسة شمولاً لكافة نماذج طرق إزالة الملوحة ومختلف الأنماط والتصاميم التي يمكن أن تستخدم ، بل أيضاً بناء 5 وحدات للتقطير من مختلف النماذج ، و وحدات لتشغيلها لمياه البحر ، ووحدتين للمياه الضاربة إلى الملوحة . تستخدم واحدة من منشآت تحويل مياه البحر طريقة التقطير المتعددة الوحدات العمودية ذات الأنابيب الطويلة ، وتستخدم وحدة ثانية طريقة التبخير الومضي المتعدد المراحل ، والحدة الثالثة تستخدم طريقة التجميد . ومن الوحدتين اللتين تعملان في المياه الضاربة للملوحة ، ستعمل واحدة بطريقة الديلزة بالكهرباء ، والثانية بطريقة البخار بالدوران القسري . يؤمن هذا العمل الذي كثيراً ما ينصح به كثيراً من المعلومات اللازمة حول طرق التقطير وتكاليف تشغيلها .

العامل الكامل الأهمية ، هو تكاليف التشغيل . على مدى سنوات عديدة ، كانت ملوحة المياه تزال بالتقطير ، ولكن التكاليف كانت عالية جداً ، 500 دولاراً لكل 1000 جالوناً . أما اليوم ، فقد انخفضت هذه التكاليف كثيراً ، فمصانع أوربة مثلاً ، باستخدامها المبخرات الأنبوبية الغاطسة ذات الوحدات الست وإنتاج الطاقة الكهربائية خفضت التكاليف أقل من 200 دولاراً تقريباً لكل 1000 جالوناً ، ولكن هذه الكلفة مازالت عالية . ويقدر أن تختصر المصانع الجديدة هذه الكلفة إلى النصف ، وأن مصانع التحويل الكبيرة ستختصرها إلى 0,50 دولاراً أو أقل لكل 1000 جالوناً .

بما أن مياه البحر تحتوي على كمية كبيرة من أملاح المغنيزيوم والكلسيوم ، إضافة إلى ما تحتويه من كلور الصوديوم (انظر التحاليل النموذجية لمياه البحر فيما سبق) ، فإن إحدى الصعوبات التي تواجه في تبخيرها هي تشكل القشرة ،

ولكن الدراسات التي أجريت حتى الآن لمنع تشكل الرواسب العالقة أعطت نتائج ممتازة . وتم أيضاً الحصول على كثير من المعلومات عن تأمين معدلات أكبر لنقل الحرارة وزيادة عدد الوحدات التي يمكن أن تستخدم مع مختلف تصاميم المبخرات . ودرست أيضاً طرق التبخير الشمسي ، واستخدمت بعض المصانع الصغيرة نسبياً في بعض المواضع لتأمين كميات بسيطة من مياه الشرب . ولكن المساحات المستخدمة كبيرة وناتجها قليل .

يعتمد التجميد لإزالة أملاح مياه البحر على الحقيقة المعروفة جيداً ، وهي أنه عند تجميد المياه المالحة ، فإن المياه هي التي تتجمد ، بينما تتركز المحاليل الملحية في السائل المتبقي ، تجري عملية التجميد بتبريد مياه البحر ، ثم توضع تحت درجة التفريق . يعمل البحر الناتج على تبريد الماء ، ويمكن تنظيم ذلك ، بحيث يتجمد حوالي النصف ، عندئذ يضخ طين الجليد والمحلول إلى عمود فارز ، حيث ينقل معظم المحلول الملحي من الجليد عبر مصفاة ، حمص ثم يغسل الجليد بالماء المستعاد من البحار الذي كان أزيل في حجرة التجميد ، ويحدث الاسترداد بطريقة حاذقة للامتصاص ،والإزالة من امتصاص وتكثيف البخار .

الديلزة بالكهرباء طريقة ممتعة ، تستخدم اليوم في عدد من المصانع لإنتاج المياه الصالحة للشرب وللأغراض العامة من المياه المالحة بواسطة مياه تيار كهربائي مستمر وسلسة من أغشية مبادلي الكاتيونات و الأنيونات المتباعدة بدقة ، و المتواضعة بشكل تبادلي . وباختصار ، عندما يمر تيار كهربائي مستمر عبر مياه المالحة في واحدة من هذه الأكوام المتعددة الأغشية ، تعبر الكاتيونات المتشردة كهربائياً أغشية مبادل الكاتيونات في اتجاه واحد ، وتعبر الأنيونات أغشية مبادل الأنيونات في الاتجاه الآخر ، تكون النتيجة الصافية ، أنه في الأحياز بين الأغشية ، تنقص الملوحة في حيز ، وتزداد في الحيز التالي ، وتنقص في الحيز الذي يليه ، إلخ ، خلال كامل الكومة .

نحصل على مياه خفيفة الملوحة من الأحياز التي نقصت فيها الملوحة ، وعرة مياه الهدر من الأحياز التي ازدادت فيها الملوحة . واعتماداً على ملوحة المياه الخام، والدرجة التي يجب تخفيض الملوحة إليها و حجوم المياه المعالجة ، يمكن إعادة تدوير المياه المنخفضة الملوحة أو تمريرها عبر عدة أكوام . ومن الواضح أن الناتج النهائي سوف لن يكون ماء مزالة معادنه تماماً ، و لكنه الماء الذي خفضت ملوحته بشكل يكفي لجعله صالحاً للشرب و ملائماً للاستخدامات العامة . و لذلك ، قد تتراوح الثمالة الملحية بشكل يكفي لجعله صالحاً للشرب وملائماً للاستخدامات العامة . و لذلك ، قد تتراوح الثمالة الملحية 1000 ppm (58 غ / جالون) إلى أقل من 500 ppm (29 غ / جالون) . تختلف تكاليف التشغيل بصورة رئيسية بالنسبة للاستبدالات الكهربائية والغشائية ، فتزداد الكلفة من أجل الكهرباء مع زيادة الملوحة . ولذلك تكون الاستخدامات الرئيسية لهذه الطريقة عموماً ، في حقل معالجة المياه ، في معالجة المياه الضاربة إلى الملوحة ، ويمكن أن نضيف أن توجد مياه كثيرة من هذه الطبقة .

ملاحظة :

إن ما ذكرناه مخطط عام مختصر جداً لبعض الطرق ، التي يمكن بواسطتها تقطير مياه البحر والمياه الضاربة إلى الملوحة . وللحصول على معلومات مفصلة حول هذا الموضوع ، ومختلف الطرق التي درست ، ونماذج المعدات التي استخدمت في هذه الدراسات ، والنتائج التي تحصلت حتى الآن ، يمكن للقارئ أن يعود إلى المنشورات الحديثة في هذا المضمار .

الفصل الثامن عشر

طرق تيسير الماء
بالجير البارد ـ صودا

Cold Lime - Soda Water Softening Processes

طرق تيسير الماء بالجير البارد – صودا
Cold Lime - Soda Water Softening Processes

يزيد عمر فن هذه الطريقة من التيسير على أكثر من قرن بقليل ، ويعود إلى عام 1841 ، عندما منح توماس كلارك ، أستاذ الكيمياء الاسكتلندي في جامعة أبردين براءة اختراع لقاء "طريقة جديدة لجعل بعض المياه (بما فيها التايمز) أقل تلوثاً وأقل عسرة للتموين والاستخدام في المصانع و القرى و البلدات والمدن .

تقضي طريقة كلارك بإضافة الجير إلى الماء ، وهكذا تخف عسرة البيكربونات عن طريق ترسيب قلوية الكلسيوم على شكل كربونات الكلسيوم , وقلوية المغنيزيوم على شكل هيدروكسيد المغنزيوم ، ويترسب الجير المضاف أيضاً على شكل كربونات كلسيوم.

وعندئذٍ يتم ترويق الرواسب بالترسيب البسيط ، ويستخدم الماء المروق بدون معالجة إضافية ، أو ترشح قبل استخدامها . تخفف طريقة كلارك عسرة البيكربونات فقط ، ولكن جون هندرسون بورتر استخدم رماد الصودا إضافة إلى الجير ، وهكذا خفف عسرة اللاكربونات إضافة عسرة البيكربونات . وكانت هذه الطريقة لتيسير الماء تعرف سابقاً بطريقة بورتر– كلارك ، لكنها تعرف اليوم على نحو أكثر شيوعاً بطريقة الجير البارد– صودا .

قام كلارك أيضاً بتثبيت كربونات الكلسيوم (قمحات في الجالون الملكي) كوحدة للعسرة ، وأوضح ذلك " كل درجة من العسرة تعادل قمحة من الطباشير ، أو الجير ، أو الكلسيوم في قمحة من الطباشير ، يجب أن تحدث في جالون الماء ، بأية طريقة تنحل بها " .

ملاحظة :

كما أشار بيكر في" البحث عن مياه نقية" (جمعية الأعمال المائية الأمريكية 1948) ، وهو كتاب ننصح به بقوة لما يتضمنه من المعلومات تاريخية غنية ، كان معروفاً قبل قرن على الأقل من ابتكار كلارك ، أن الأملاح القلوية تيسر الماء . وذكر بيكر كثيراً من المخترعين الذين جاءوا قبل كلارك .

المبادئ الرئيسية للعملية : Principles Of Operation

يتضمن الجدول 1 – 18 ذوبانيات بيكربونات وكربونات وكلوريدات وهيدروكسيدات وكبريتات : الكلسيوم والمغنيزيوم والصوديوم بلغة مكافئاتها من كربونات الكلسيوم ، وبأجزاء من المليون ، وبالغرام في الجالون بدرجة 32 و212 ف ، ونلاحظ أن كل مركبات الصوديوم ذوابة جداً ، و أن مركبات الكلسيوم والمغنيزيوم ذات الذوبانيات الأدنى ، هي كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنيزيوم ، الأمر الذي يعلل ترسب الكلسيوم على شكل كربونات والمغنيزيوم على شكل هيدروكسيد في طرق الجير – صودا .

الجدول 1 . 18 ذوبانية بيكربونات وكربونات وكلوريدات وماءات

الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم

Name	Formula	(ppm of $CaCO_3$)		(gpg of $CaCO_3$)	
		at 32°F	at 212° F	at 32° F	at 212° F
Calcium bicarbonate	$Ca(HCO_3)_2$	1620	decomp.	94.5	decomp.
Calcium carbonate	$CaCO_3$	15	13	0.9	0.8
Calcium chloride	$CaCl_2$	336000	554000	19600	32300
Calcium hydroxide	$Ca(OH)_2$	2390	888	139	51.8
Calcium sulfate	$CaSO_4$	1290	1250	75.3	72.9
Magnesium bicarbonate	$Mg(HCO_3)_2$	37100	decomp.	2170	decomp.
Magnesium carbonate	$MgCO_3$	101	75	5.9	4.4
Magnesium chloride	$MgCl_2$	362000	443000	21100	25900
Magnesium hydroxide	$Mg(OH)_2$	17	8	1.0	0.5
Magnesium sulfate	$MgSO_4$	170000	356000	9920	20800
Sodium bicarbonate	$NaHCO_3$	38700	decomp.	2260	decomp.
Sodium carbonate	Na_2CO_3	61400	290000	3580	16900
Sodium chloride	NaCl	225000	243000	13100	14200
Sodium hydroxide	NaOH	370000	970000	14200	56900
Sodium sulfate	Na_2SO_4	33600	210000	1970	12300

قلوية الكلسيوم ، والمغنيزيوم والصوديوم :

Calcium , Magnesium , and Sodium Alkalinities

رغم أن الأملاح في محلول مخفف كالماء لا توجد في حد ذاتها بل على شكل أيونات ، فمن المناسب تصوير شق البيكربونات كمرتبط أولاً بالكلسيوم وثانياً بالمغنيزيوم ، لأن هذا هو الترتيب الذي يحدث فيه الترسيب ، عند إضافة الجير إلى الماء الذي يحتوي على هذه البيكربونات . أي أن كربونات الكلسيوم ستترسب أولاً بسبب انخفاض ذوبانيتها . أما كربونات المغنزيوم فسوف لن تترسب كالكربونات ، لأن ذوبانيتها تبلغ ستة أضعاف ذوبانية الكربونات تقريباً، باستثناء ما يتعلق بالكمية التي تتجاوز ذوبانيتها . ولكن مع مواصلة إضافة الجير ، سيترسب ثانياً هيدروكسيد المغنزيوم ، بسبب ذوبانيته القليلة . أما أملاح الصوديوم ، فجميعها ذوابة جداً . ولذلك عند معاينة تحليل الماء ، تحسب القلوية أولاً على أنها رابطة للكلسيوم ، وتدعى " **قلوية الكلسيوم**" . فإذا تخلفت أية قلوية فإنها تحسب على أنها رابط للمغنيزيوم ، وتسمى " **قلوية المغنزيوم**" . وفي عدد قليل نسبياً من المياه الطبيعية ، قد تكون زيادة القلوية أكثر من قلويتي الكلسيوم والمغنزيوم . وتحسب في هذه الحالات على أنها رابط للصوديوم ، وتسمى " **قلوية الصوديوم**" . فإذا عبرنا عن إجمالي العسرة ، عسرة الكلسيوم ، وعسرة المغنزيوم ، وعسرة صوديوم ، وإجمالي القلوية (قلوية برتقالي المثيل) على أن مكافئاتها $CaCO_3$ ، فإن تطبيقات القوانين التالية سوف تبين نوع القلوية الموجودة وكميتها .

(1) قلوية الكلسيوم = عسرة الكلسيوم أو إجمالي القلوية , مهما كانت قليلة (من الواضح إذا كانت متساوية ، كل واحدة) .

(2– آ) قلوية المغنيزيوم = عسرة المغنزيوم إذا كان إجمالي القلوية مساوياً لإجمالي العسرة أو أكبر منها .

(2 – ب) قلوية المغنزيوم = إجمالي القلوية– عسرة الكلسيوم ، إذا كان إجمالي القلوية أكبر من عسرة الكلسيوم لكنه أقل من إجمالي العسرة .

(3) قلوية الصوديوم = إجمالي القلوية – إجمالي العسرة .

ملاحظة : من الواضح أنه إذا حصلنا على صفر أو رقم سلبي في أي من هذه النتائج ، فلن يكون موجوداً أي من تلك الأشكال القلوية .

عسرة اللاكربونات : *non Carbonate Hardness*

توجد عسرة اللاكربونات إذا كان إجمالي العسرة أكبر من إجمالي القلوية . وإذا كانت عسرة اللاكربونات موجودة ، فإنها تعتبر كرابط أول للمغنيزيوم ، والرابط الثاني للكلسيوم ، بحيث لو وجد أية قلوية للمغنيزيوم ، فسوف لن توجد عسرة لا كربونات الكلسيوم . ويوضح الجدول 2 – 18 تطبيقات هذه القوانين على ثلاثة أنواع من المياه ، تحمل كل منها إجمالي العسرة نفسه وعسرة هذه الكلسيوم ، وعسرة المغنزيوم ، إنما تختلف كميات إجمالي القلوية .

الجدول 2 . 18 القلوية وعسرة اللاكربونات في ثلاث أنواع من المياه

قبل وبعد المعالجة بطريقة الجير . صودا الباردة

Analyses	Water #1	Water #2	Water #3
Total hardness	300	300	300
Calcium hardness	200	200	200
Magnesium hardness	100	100	100
Total alkalinity	150	250	350

Interpretations	Water #1	Water #2	Water #3
Calcium alkalinity	150	200	200
Magnesium alkalinity	none	50	100
Sodium alkalinity	none	none	50
Calcium noncarbonate hardness	50	none	none
Magnesium noncarbonate hardness	100	50	none

الاختلاف في المعالجة : *Variations in Treatment*

يمكن أن تختلف طريقة تيسير الماء بالجير البارد(أو الجير – صودا) وفقاً لتركيب المياه الخام ومتطلبات الاستخدام النهائي . فتيسير الموارد البلدية من المياه

مثلاً ، ينتج عادة . وجزئياً فقط ، عسرة ثمالية مقدارها 85ppm (5 غ / جالون) . وكثير من مياه التبريد إضافة إلى بعض مياه المعالجة ، كالمياه المستخدمة في بعض عمليات تبيض العجينة الورقية ، تحتاج فقط إلى تخفيف قلوية الكلسيوم إلى حوالي 35 ppm . تحتاج مياه الأشربة المكرينة عادة تخفيف إجمالي القلوية فقط إلى أقل من رقم محدد . وفي صنع الجليد ، يكون تخفيف البيكربونات فقط ذا أهمية . تحتاج مياه التخمير عادة فقط إلى تخفيف القلوية ، وفي حالات كثيرة ، إضافة عسرة اللاكربونات على شكل كبريتات الكلسيوم . وفي جميع هذه الحالات كثيرة ، إضافة عسرة اللاكربونات على شكل كبريتات الكلسيوم . وفي جميع هذه الحالات ، إضافة إلى كثير من الحالات الأخرى ، يكون التيسير أو المعالجة الجزئية ضرورياً .

وفي حالات أخرى ، قد يكون مطلوباً إزالة العسرة بدرجات أكبر . ويتضمن هذا ما يعرف بـ " المعالجة الكاملة" ، والتي نختزل فيها إجمالي محتوى الكلسيوم والمغنيزيوم ، سواء كان موجوداً على شكل عسرة بيكربونات ، أو عسرة لاكربونات ، أو مزيجاً من كليهما ، بقدر الإمكان بدون استخدام زيادة في المواد الكيميائية . أو قد يتضمن المعالجة بـ " زيادة المادة الكيميائية ، وفيها تضاف زيادات المواد الكيميائية ، بحيث تختزل محتويات كربونات الصوديوم المضافة وهيدروكسيد الصوديوم المتشكل العسرة أرقام أدنى من الأرقام المتحصلة في " المعالجة الكاملة" .

وفي حالات أخرى أيضاً ، قد تستلزم المعالجة إزالة أو اختزال المواد الأخرى إضافة إلى العسرة و/ أو القلوية . ومن بين هذه المواد الحديد ، و المنغنيز ، والفلوريد ، والسيلكا . وكنا عالجنا إزالة الحديد والمنغنيز بطريقة الجير البارد– صودا ، والطرق الأخرى في الفصل 14 . وسوف ندرس في هذا الفصل إزالة الفلوريد والسيلكا بالطريقة الباردة .

يستخدم عنوان هذا الفصل " **طريقة تيسير الماء بالجير البارد– صودا** " حصراً لتغطية عدد من طرق الترسيب لتيسير الماء على البارد ، أي الطرق التي يعالج فيها الماء بالجير ، أو بالجير ورماد الصودا ، أو بمواد كيميائية أخرى بدرجات الحرارة العادية . في هذه الطرق تختزل محتويات الكلسيوم و/ أو المغنيزيوم بواسطة الترسيب ، و / أو الترويق ، و/ أو الترشيح . وكما أشرنا سابقاً يترسب الكلسيوم على شكل كربونات كلسيوم ($CaCO_3$) ، والمغنيزيوم على شكل هيدروكسيد المغنزيوم $Mg(OH)_2$. وعندما يترسبان على الماء البارد ، يكونان ناعمين جداً ، إلى الحد الذي نحتاج معه لاستخدام جرعات صغيرة من مادة مخثرة لإحداث الاندماج والترويق .

ملاحظة : تستثنى من ذلك إزالة الكلسيوم بواسطة السبيركتور Spirctor وهي طريقة لا تستخدم فيها مادة مخثرة .

المواد الكيميائية المستخدمة : Chemicals Used

قد يكون الجير المضاف جيراً كيميائياً ، أو جيراً مميأ ، أو لأغراض خاصة كإزالة السيلكا ، جيراً دولوميتياً أو دولوميتياً مميأ .

الجير الكيميائي Chemical Lime

إضافة الجير الكيميائي (CaO) أقل كلفة ، على أساس مكافئ ، من كلفة الجير المميأ $Ca(OH)_2$. ولكن الجير الكيميائي يحتاج إلى عناية أكبر في التخزين والمعالجة ، ويجب إطفاؤه إلى $Ca(OH)_2$ في كمية محدودة من الماء قبل التلقيم :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

ويعرف الجير الكيميائي أيضاً باسم الجير الحي أو الجير المحترق . والرقم العادي المناسب لنقاوة الصنف التجاري منه 90 % على شكل Ca O .

الجير المميأ Hydrated Lime

معالجـة الجيـر المميـأ $Ca(OH)_2$ أسـهل مـن معالجـة الجيـر الكيميـائي ، ويمكن تخزينـه بأمـان فـي أبنيـة خشبية ، ومـن الواضـح أنـه لا حاجـة لإطفائـه قبـل استخدامه . ويعرف الجير المميأ أيضاً بالجير المطفأ . والرقم العادي لنقاوة النوع التجاري منه ، هو 93 % على شكل $Ca(OH)_2$.

الجير الدلوميتي والجير الدولوميتي المميأ

Dolomitic Lime and Hydrated Dolomitic Lime

يختلف هذا النوعان من الجير إلى حد ما بكميات المغنسيا التي يحتويانها . ولإزالـة السيلكا ، يجـب أن يكـون الجيـر الـدولوميتي حـوالي 58 % مـن CaO و 40 % مـن MgO ، و الجيـر الـدولوميتي المميـأ ، يجـب أن يكـون 62 % مـن $Ca(OH)_2$ و 32 % من MgO .

رماد الصودا Soda Ash

الصنف التجاري المستخدم منـه هو رماد الصـودا الخفيف Na_2O 58 % (الذي يكافئ لـ Na_2CO_3 99.2 %) . ومعدل نقاوة أكثر من 98 – 99 % .

المواد المخثرة Coagulants

المادة المخثرة الأوسع انتشاراً هي كبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ وتعرف تحت عدة أسماء تجارية ، وكبريتات الحديد $FeSO_4.7H_2O$ ، وتعرف أيضاً تحت اسم كوبراس Copperas (عندما تستخدم كبريتات الحديد ، يجب أن يكون الهواء أو عامل تأكسد آخر موجوداً لضمان الترسيب على شكل $Fe[OH]_3$ ، وألومنيات الصوديوم ($NaAlO_2$) والتي تحتوي عادة على ألومنيات صـوديوم 89 % وهيدروكسيد وكربونات صوديوم 10 % تقريباً . تتراوح جرعات المخثر التي تستخدم عادة من 10 - 20 ppm من مختلف مواد التخثير .

أدرجنا في الجدول 5 – 18 هذه الجرعات وتأثيراتها على تركيب الماء .

مقارنة تكاليف المعالجة : Comparative Treatment Costs

في المادة السابقة ، تحت عنوان " الأشكال المختلفة في المعالجة" ، درسنا باختصار درجة المعالجة اللازمة من أجل مختلف الاستخدامات النهائية . ومن الواضح ، أنه إذا كان مطلوباً اختزال قلوية الكلسيوم فقط ، فلا حاجة لتحمل نفقات إزالة أي شكل آخر من عسرة الماء . يصبح هذا خصوصاً في طرق الجير البارد صودا ، لأن كلفة إزالة قلوية الكلسيوم مثلاً ، تبلغ حوالي $^1/_6$ كلفة إزالة الكمية نفسها من عسرة لاكربونات المغنزيوم . وتظهر التفاعلات التالية الكميات المقارنة من المواد الكيميائية اللازمة لإزالة كميات مماثلة من قلوية الكلسيوم ، وقلوية المغنزيوم ، وعسرة لاكربونات الكلسيوم ، وعسرة لاكربونات المغنزيوم ، ويبين الجدول 3 – 18 التكاليف المقارنة لإزالة هذه المواد .

وبما أن الكلسيوم يترسب على كربونات كلسيوم ، والمغنيزيوم على شكل هيدروكسيد ، فإن الجرعات المكافئة والمادة الكيميائية اللازمة ، والتفاعلات المشتركة ، تكون كما يلي :

ملاحظة : التفاعلات الواردة أدناه تكتب لتظهر $Ca(OH)_2$ ، لأن هذه هي مادة التفاعل . وعندما يستخدم الجير الكيميائي (CaO) ، يجب إطفاؤه أولاً إلى شكل $Ca(OH)_2$.

(1) يحتاج مكافئ واحد من قلوية الكلسيوم إلى مكافئ واحد من الجير المميأ .

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(2) يحتاج مكافئ واحد من قلوية المغنزيوم إلى مكافئين من الجير المميأ .

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(3) يحتاج مكافئ واحد من عسرة لاكربونات إلى مكافئ واحد من رماد الصودا

$$Ca\left\{\begin{matrix} SO_4 \\ CI_2 \end{matrix}\right. + NaCO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na\left\{\begin{matrix} SO_4 \\ CI_2 \end{matrix}\right.$$

(4) يحتاج مكافئ واحد من عسرة لاكربونات المغنزيوم إلى مكافئ واحد من رماد الصودا إضافة إلى مكافئ واحد من الجير المميأ .

$$Mg\begin{cases} SO_4 \\ CI_2 \end{cases} + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2\begin{cases} SO_4 \\ CI_2 \end{cases}$$

يكلف الجير الكيميائي (CaO) عادة حوالي $^1/_3$ كلفة رماد الصودا . ويزن مكافئه أيضاً 56 مقارنة 106 لرماد الصودا . ولهذه يتضح أن إزالة عسرة اللاكربونات أكثر كلفة من إزالة عسرة البيكربونات . ويتضح من هذه التفاعلات أيضاً ، أن إزالة المغنزيوم أكثر كلفة من إزالة الكلسيوم .

وندرج في الجدول 3 – 18 التكاليف المقارنة على أساس النقاوة والتكاليف العادية للمواد الكيميائية التجارية ، مقدرة بحمولة العربة ، ومثلث كلفة إزالة بيكربونات الكلسيوم كواحد .

الجدول 3 – 18 ، طريقة الجير البارد– صودا : مقارنة تكاليف إزالة بيكربونات والمغنيزيوم وعسرة اللاكربونات باستخدام الجير الكيميائي ورماد الصودا .

إزالة	الكلفة النسبية
عسرة بيكربونات الكلسيوم	1
عسرة بيكربونات المغنيزيوم	2
عسرة لاكربونات الكلسيوم	5
عسرة لاكربونات المغنيزيوم	6

نماذج ميسرات بالجير البارد– صودا

Types Of Cold Lime - Soda Water Softeners

هناك أربعة نماذج أساسية من ميسرات الماء بالجير البارد– صودا :

(1) نموذج دثار الكدارة . (2) النموذج "التقليدي" .

(3) النموذج "الحفاز" . (4) النموذج أو نموذج المعالجة بالدفعات .

النماذج الثلاثة الأولى نماذج مستمرة ، أي أن الماء يعالج أثناء جريانه في المعدات . أما النموذج الرابع ، فكلما يدل اسمه ، يجري فيه الماء بصورة متقطعة وليست مستمرة ، لأن الماء يعالج على دفعات منفصلة . ومن بين هذه النماذج ،

استبدل النموذج التقليدي للاستخدام الصناعي بنموذج دثار العكارة ، بسبب فعاليته الأعلى ، وفترة التوقف الأقصر ، وحجمه الأصغر . ويستعمل أيضاً على نطاق واسع في البلديات ، ولكن بعض الهيئات الصحية تفضل فترات التوقف الساعية في نموذج دثار العكارة . والنموذج التقليدي ، نموذج قديم المعدات ، كان يستخدم سابقاً، على نطاق واسع جداً ، في الصناعة ، والخطوط الحديدية ، والبلديات أما النموذج المتقطع ، فقد تلاشى من الوجود تقريباً ، إلا في قلة من مصانع الجير – باريوم ، بسبب ما يتطلبه من حّيز ، والحاجة إلى قدر كبير من العمل لتشغيله . أما النموذج الحفاز ، فهو ضمن حدوده ، عينة ممتعة جداً من المعدات ، لأنه بدلاً من أن يكون ناتجه الثانوي عكارة واسعة الانتشار ، يكون ناتجاً حبيبياً ، تسهل معالجته ، ويخفف بسرعة . وتقدم المادة التالية معلومات مفصلة فيما يتعلق بهذه النماذج الأربعة من المعدات وطرق تشغيلها .

نموذج دثار العكارة : ***Sludge - Blanket Type***

يصنع نموذج الدثار العكر (أو تلامس الجوامد المعلقة) من ميسرات الماء بالجير البارد– صودا في عدة تصاميم مختلفة ، ولكن المبدأ الأساسي الذي يختلف به عن النموذج "التقليدي" القديم هو أن الماء المعالج يرشح صعوداً من خلال دثار عكر معلق يتألف من الرواسب المتشكلة سابقاً. وبهذا الإجراء نحصل على فوائد مميزة :

الأولى ، في التطبيق الأمريكي ، يجري تلقيم جرم الجير المستخدم ، في أي نموذج من المعدات ، على شكل مستعلق . إن ذوبانية الجير المميأ هي فقط 0 .18 جزءاً في 100 جزءاً بدرجة 32 ف . وبما أن المستعلق العادي الذي يلقم ، هو جزءاً من الجير في 100 جزءاً من الماء ، يتضح أن أكثر من 96 % من الجير يكون موجوداً في المستعلق . في نموذج المعدات " التقليدي" ينتقل بعض المستعلق إلى العكارة المتشكلة من الرواسب ، قبل أن تتهيأ له فرصة الانحلال

والتفاعل مع مقومات عسرة الماء الخام ، ولذلك يتبدد بعض الجير . لا يحدث هذا في نموذج الدثار العكر ، لأن الترشيح الصاعد عبر الدثار العكر المعلق ، يؤدي إلى انحلال كامل واستخدام جير إضافي .

والثانية ، من المعروف أنه تتشكل ، في النمط " التقليدي" من المعدات "رواسب لاحقة" أو " قرارات لاحقة" فوق حبيبات وسط الترشيح في المرشحات وفي خطوط الأنابيب ، أو في شبكات التوزيع التي تحمل الصبيب المرشح ، الأمر الذي أدى إلى شيوع ممارسة (إعادة الكربنة) بثاني أكسيد كربون الناتج من المداخن ومواقد فحم الكوك الخ ، لتفادي تشكل هذه الرواسب . عزي وجود هذه الرواسب اللاحقة إلى فرط التشبع و / أو التفاعلات الناقصة في المعدات في نموذج معدات الدثار العكر ، يمنع التلامس الوثيق للماء المعالج مع كتلة كبيرة من الطور الجامد إلى حد كبير فرط التشبع وتشكل الرواسب اللاحقة فعندما تستخدم قيم PH عالية في إزالة عسرة المغنزيوم يمكن خفض هذه القيم عن طريق إعادة الكربنة ، أو بجرعة صغيرة من الحمض تضاف إلى الصبيب .

والثالثة يؤدي الترشيح الصاعد ، وغياب (الرواسب اللاحقة) في نموذج معدات الدثار العكر إلى إنتاج صبيب نقي بما يكفي (العكارة عادة أقل من 10 ppm) لكثير من الاستخدامات الصناعية ،بحيث تكون معدات الترشيح اللاحق ضرورية غالبا .

الصورة 1 . 18 مقطع عمودي في مرسب

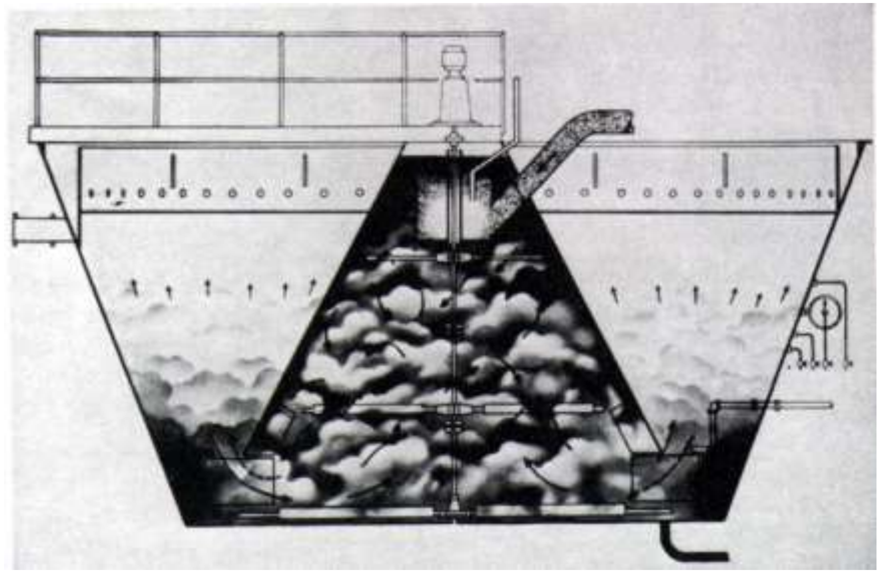
والرابعة تتراوح فترة التوقيف في نموذج المعدات التقليدي من ساعتين إلى ربع أو أكثر ، أما في نموذج معدات الدثار العكر ، فتكفي أن تكون مدة التوقف ساعة واحدة مما يجعل حيّز المنشأة أقل مما يشغله النموذج التقليدي .

والخامسة في إزالة السيلكا نحتاج إلى تلامس وثيق مع كتلة كبيرة من الفاعل أو المازّ الجامد ، ومن الواضح أنه يفضل إنجاز ذلك في نموذج معدات الدثار العكر .

التصميم العمودي : Vertical Design

الصورة 1 . 18 هي رسم لمقطع عرضاني في ميسر عمودي للماء بالجير البارد . صودا في الدثار العكر (أو تلامس الجوامد المعلقة) . المرسب العمودي والصورة 2 . 18 ، هي رسم اجترافي يظهر تشكل الرواسب في المعالجة بالجير البارد صودا والترشيح الصاعد عبر الدثار المعلق للرواسب المتشكلة سابقاً . قد تصنع الحجرة الخارجية من الفولاذ أو الكونكريت أما الحجرة الداخلية فتصنع عادة من الفولاذ مع أنها تصنع في بعض الحالات من

الصورة 2 . 18



الكونكريت أيضاً . تتألف الحجرة الخارجية ، كما نرى في هذه الصور من قطاع مخروطي الجزء المتسع باتجاه الأعلى في حين تتألف الحجرة الداخلية من قطاع أصغر ، مخروطي أو هرمي قاعدته من الأسفل يجري إدخال المياه الخام ومواد المعالجة الكيميائية من أعلى الحجرة الداخلية حيث يتم مزجها تماماً بواسطة محراك آلي منظم مركزياً ويعمل بمحرك . قد تكون المغذيات الكيميائية من النموذج السائل أو الجاف والنموذج الجاف يستخدم عادة في الوحدات ذات الحجوم الكبيرة .

وفي المغذيات من النموذج السائل كالنموذج الكهربائي تتم التغذية بالجير المميأ أو المطفأ ، على نطاق واسع ، بشكل مستعلق يكون عادة بتركيز 5% . وحيثما نحتاج لاستخدام رماد الصودا في المغذيات من النموذج السائل نقوم عادة بحله ثم تلقيمه مع مستعلق الجير ، بدلاً من تلقيمه منفصلاً . تحل مادة التخثير ، وتلقم بواسطة مغذٍ كيميائي مستقل وعند استخدام المغذيات الجافة تستخدم مغذيات مستقلة للجير ورماد الصودا ومادة التخثير يتألف المحراك الآلي من سلسلة من الأذرع ، مركبة على جذع عمودي يدار بمحرك يعمل بواسطة ترس لتخفيض

السرعة . وتختلف سرعة الدوران وفقاً لاختلاف الحجم ، ولكن السرعة التي تستخدم عادة عن طرف الذراع تصل إلى 50 ـ 150 قدماً تقريباً في الدقيقة . وكثيراً ما تستخدم إدارات متغيرة السرعة في الوحدات الأكبر . وعندما تتفاعل مقومات العسرة الموجودة في الماء ، مع المواد الكيميائية المضافة ، تبقى الرواسب التي تنتج في المستعلق بواسطة المحراك . ويجري الماء المعالج ببطء حاملاً رواسبه المعلقة إلى قاع الحجرة الداخلية ، وهناك ينبثق من سلسلة من الفتحات فينعكس سيره ، ويرتفع في الحجرة الخارجية .

كثيراً ما تستخدم عوارض تهدئة في القاع لتوقيف الحركة الدورانية من انتقالها صعوداً في الحجرة الخارجية عندما يرتفع الماء المعالج في الحجرة الخارجية ، فإن سرعته الرأسية في الجزء الأسفل من الحجرة تكفي لإبقاء الرواسب في المستعلق . وبسبب هذا التصميم تزداد باستمرار مساحة المقطع العرضي للحجرة الخارجية مع الاتجاه من الأسفل إلى الأعلى . وبالتالي تنقص باستمرار السرعة الرأسية للماء المعالج أثناء عبوره لهذه الحجرة . وأخيراً يتم الوصول إلى مستوى لا يمكن فيه لحجم معين من العكارة المعلقة ، في معدل جريان معين ، أن يوسع دثار العكارة إلى حد أبعد . وهذا يؤشر المستوى العلوي لدثار العكارة . وفي التطبيق العملي ، هناك خط واضح يعين الحد بين المستوى العلوي لدثار العكارة والماء النقي الذي يرتفع فوقه ، والذي يجمع بواسطة شبكة التجميع ويذهب بعد ذلك إلى الخدمة ، أو إلى المرشحات ومن ثم إلى الخدمة .

يحتفظ بهذا المستوى عن طريق استنزاف العكارة بالمعدل نفسه الذي تتشكل فيه عكارة جديدة ، ويمكن إجراء ذلك آلياً . تجري عملية الاستنزاف عادة بواسطة مركزِّ عكارة متكامل . ويظهر هذا الجهاز في قاع الحجرة الخارجية في الصورتين 18 . 1 و 18 . 2 وتستخدم أحياناً مركِّزات خارجية بدلاً من المركزات الداخلية ، ولكنها يستغنى عنها في الحجوم الأصغر . إن ازدياد معدل الجريان سيزيد من

ارتفاع دثار العكارة والعكس صحيح ولكن يمكن المحافظة على عامل أمان كاف بالنسبة لارتفاع الدثار في حالة ازداد معدل الجريان ، وذلك بسبب اتساع مساحة المقطع العرضاني صعوداً . وعلى العكس يتقلص الدثار إذا انخفض معدل الجريان ، ولكن ، وبما أن مساحة المقطع العرضاني تتناقص نزولاً فإن المدى الذي يعمل فيه هذا النموذج من المعدات بصورة مرضية من 20 % من القدرة كحد أدنى إلى حوالي 110 % كحد أعلى وتتراوح كثافة العكارة في الدثار من حوالي 1 ـ 2 % من الجوامد وتتراوح كثافة العكارة المركزة من المركز من 10 إلى أقل بقليل من 15 % .

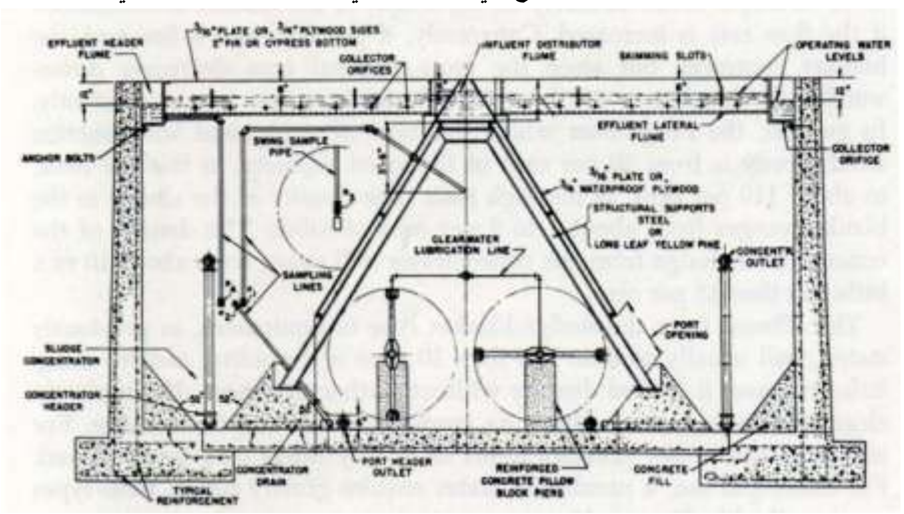
وكما ذكرنا سابقاً يحتوي الصبيب من نموذج معدات الدثار العكر عادة على أقل من 10 ppm من العكارة ، ويستخدم مباشرة لكثير من الاستعمالات الصناعية من غير معالجة إضافية . أما إذا أردنا أن يكون الصبيب نقياً تماماً فيجب أن نستخدم المرشحات بعد الميسر . تحتاج كثير من الولايات إلى مرشحات بالثقالة من أجل الاستخدام البلدي . وقد أتينا على وصف كلا النموذجين في الفصل 13 .

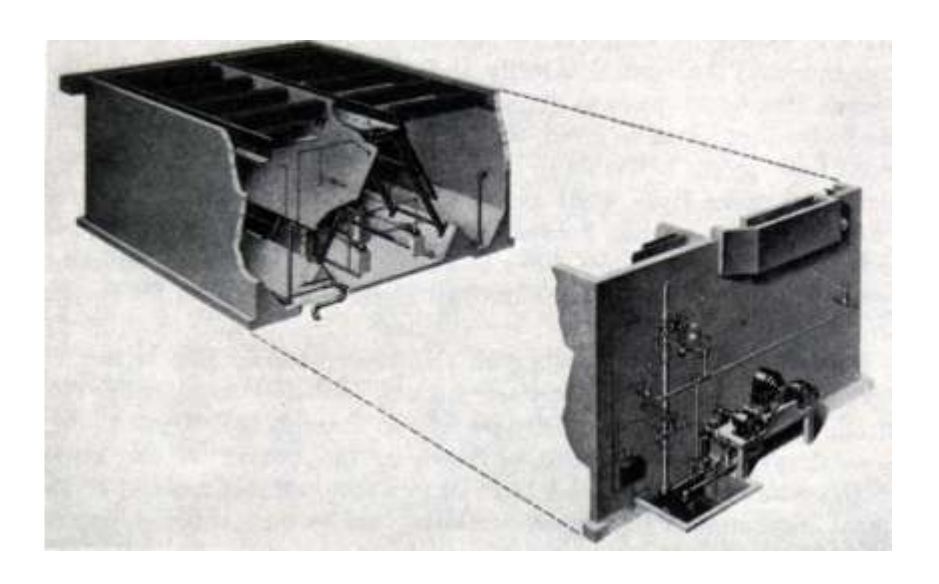
التصميم الأفقي : ***Horizontal Design***

الصورة 3 . 18 هي رسم اجتراف لتصميم أفقي لميسر الماء بالجير البارد . صودا بالدثار العكر ، والصورة 4 . 18 مرسم مقطعي مجترف يظهر تفاصيل حجرة المزج الداخلية ، والحجرة الخارجية ، ومركزات العكارة ، وأداة الاعتيان وقناة موزع الصبيب ، وقنوات الصبيب الجانبية والرئيسية .

الحجرة الخارجية في هذا التصميم مستطيلة الشكل ، وتتألف الحجرة الداخلية من حواجز مائلة مواد البناء في الحجوم الصغيرة كلها من الفولاذ .

الصورتين 3 . 18 و 4 . 18 مقطع في مرسب أفقي يظهر التركيب الداخلي للمرسب





وفـي الحجـوم الأكبـر ، تكـون الجـدران الخارجيـة مـن الكونكريـت ، والجـدران الداخلية المائلة من الفولاذ عادة . تركب الأذرع الآلية أفقياً وتحصر آلية الإدارة في نقرة محفورة عند طرف الغرفة الخارجية كما نرى في الصورة 3 . 18 . تتراوح

السرعة عند أطراف الأذرع من 40 . 120 قدماً في الدقيقة وتتألف شبكة التجميع كما نرى في الصورة نفسها من قنوات جانبية ورئيسية . في هذا التصميم نحصل على توسع مساحة المقطع العرضي صعوداً عن طريق الجدران المائلة التي تشكل الحجرة الداخلية . وتدخل المياه كما في التصميم العمودي إلى أعلى الحجرة الداخلية حيث تضاف إليها المواد الكيميائية ، وتمزج بصورة كاملة بواسطة المحراك الآلي ، ثم تعبر هذه الغرفة ، وترتفع ببطء صعوداً من خلال الدثار العكر المعلق في الحجرة الخارجية ، وتنبثق من أعلى الدثار كسائل نقي عملياً ، وترتفع إلى شبكة التجميع ، حيث تجرى منها إلى الاستخدام المباشر ، أو إلى المرشحات وبعدها إلى الاستخدام . طريقة التشغيل ، ومعدلات الجريان ونوعية الصبيب ، والفعالية ومدى التشغيل ، كلها كما في التصميم العمودي

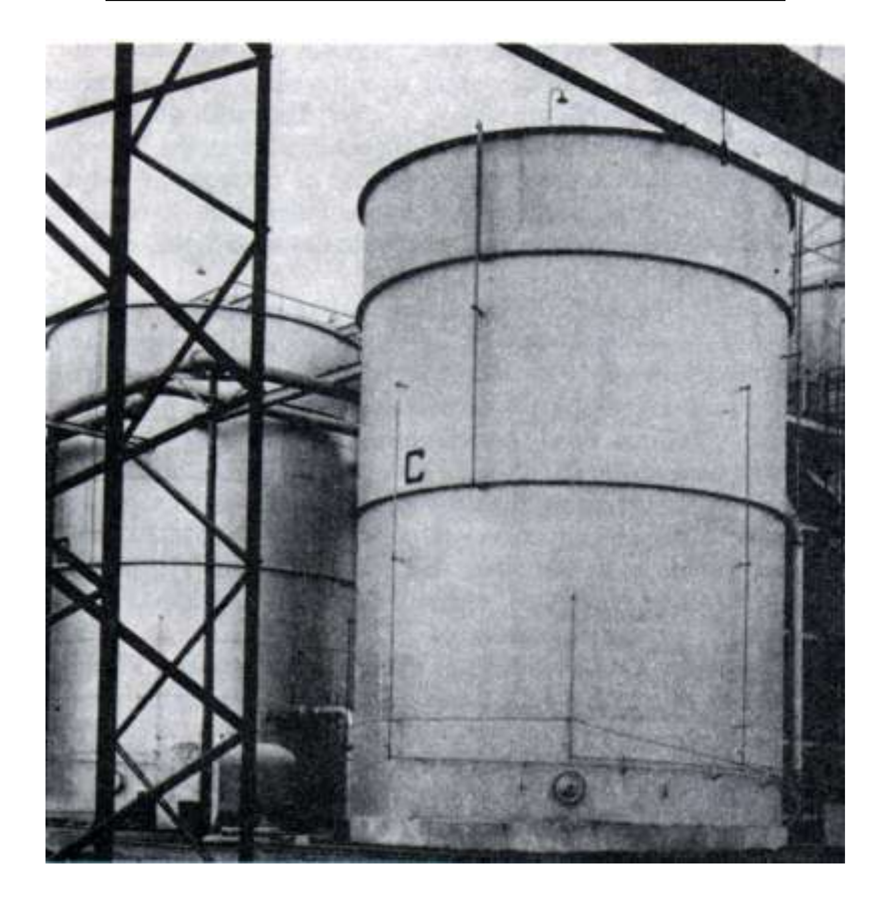
تصميم الطابقين أو تصميم لويزيانا :

Double - Deck or Louisiana Desing

تظهر الصورة 5 – 18 وحدتين لمنشأة من تصميم لويزيانا ذي الطابقين. استخدم هذا التصميم ، بصورة رئيسية ، لتحويل النماذج التقليدية الفولاذية الشاهقة الموجودة من الميسرات إلى نموذج الدثار العكر .

وتتألف الآلية من حجرتين مخروطيتين ، إحداهما فوق الأخرى ضمن غلاف ميسر قديم . يدخل الماء والمواد الكيميائية عند القاع ، وتنفصل العكارة إلى دثارين عكرين ، ويسحب الماء المعالج من شبكتي تجميع ، وتستنزف العكارة بواسطة مركِّزين . وفيما عدا ذلك ، يشبه التشغيل مثيله في التصاميم الأخرى . تصل القدرات في هذه الوحدات عادة إلى ثلاثة أضعاف القدرات السابقة .

الصورة 5 . 18



النموذج " التقليدي" Conventional Type

تستخدم عبارة " نموذج تقليدي" لتعيين النموذج المتواصل لميسر الماء بالجير البارد– صودا ، الذي لا يستخدم الدثار العكر ، لكنه يتيح للعكارة أن تستقر في قاع الميسر . يمكن بناء هذا الميسر من الفولاذ أو الكونكريت . نماذجه مختلفة ، لكن التصميم الفولاذي العادي يتألف من اسطوانة شاهقة إلى حد ما ، قعرها منبسط ، تحتوي على ماسورة نازلة أسطوانية مركبة مركزياً ، لتعمل كحجرة مزج وتفاعل . في التصميم الكونكريتي ، يكون حوض الترويق عادة مستطيل الشكل ، والجزء الأكبر من عمقه تحت مستوى الأرض ، وتكون حجرة المزج والتفاعل ،

في أكثر الأطوال ، حوضاً صغيراً منفصلاً بدلاً من الماسورة النازلة ، كما في التصميم الفولاذي . استخدم التصميم الفولاذي في الصناعة على نطاق أوسع من استخدام التصميم الكونكريتي ، الذي كان محدود الاستخدام في المنشآت البلدية .

التصميم الفولاذي Steel Desing

في التصميم الفولاذي ، يتألف ميسر الماء بالجير صودا من النموذج " التقليدي" عادة من خزان فولاذي أسطواني شاهق منبسط القاع ، في وسطه ماسورة فولاذية اسطوانية نازلة ، ينتهي طرفها الأسفل على مسافة مأمونة فوق القاع لترك حيزّ وافر لجمع العكارة في القاع . وفي التصاميم الأقدم ، كانت المغذيات الكيميائية تتوضع في أعلى الميسر ، ولكن نظراً لصعوبة عملية التشغيل القمي (العلوي) استبدل بالتشغيل الأرضي . في تشغيل التصميم الأرضي ، تتوضع المغذيات الكيميائية ومفاتيح التحكم عند مستوى الأرض ، ويضخ طين الصودا- الجير ومحلول مادة التخثير إلى أعلى الميسر .

يمكن استخدام كلا نموذجي المغذيات الكيميائية ، السائلة والجافة . ففي حالة استخدام المواد الكيميائية الجافة . تمزج هذه المواد من المغذيات بالماء ، ثم تضخ المحاليل أو الطين المتشكل إلى أعلى الميسر . يلقم الجير والصودا معاً عادة ، وتضاف المادة المخثرة منفصلة . تمزج المواد الكيماوية مع الماء الخام في الماسورة النازلة ، بحيث تتفاعل مع مقومات العسرة لتشكل الرواسب ، التي تنتقل نزولاً مع جريان الماء النازل . وعند أسفل الماسورة النازلة التي تقع فوق مستوى العكارة تقريباً ، ينعكس مجرى الماء ويرتفع نحو حنفية التفريغ قرب الحجرة الخارجية . وهنا تستقر الرواسب في القاع لتشكيل العكارة ، التي تزال بشكل متقطع عادة بواسطة عنكبوتة العكارة وصمام سريع الفتح .

يجب أن يكون تصميم الميسر بحيث سرعة الماء الصاعد دون السرعة التي يمكن أن تحمل كميات ملحوظة من الرواسب معها . وكلما كانت الجزئيات أصغر

وسرعة الماء أعلى يجب أن تكون السرعة الصاعدة أبطأ . وبما أن سرعة الماء تزداد مع هبوط درجة الحرارة ، يجب أن تتخذ الاحتياطات بحيث لا تكون ، السرعة الصاعدة كبيرة مع أدنى درجة حرارة للماء قد تواجهنا . وبما أن انخفاض درجة الحرارة يخفف أيضاً من سرعة التفاعل بشكل ملحوظ ، فإن فترة التوقف يجب أن تكفي لمواجهة أبرد الحالات التي قد تواجهنا .

ولأغراض الصناعة ، تكون فترة التوقف 4 ساعات عادة في الأجواء المعتدلة والباردة ، وتستخدم أيضاً فترات توقيف أطول ، ولكن بما أنه يجب تحقيق التوازن بين فعالية التشغيل وتكاليف المنشأة ، لذلك يجب تفادي فترات التوقف الطويلة .

التصميم الكونكريتي Concrete Design

في التصميم الكونكريتي لميسر الماء بالجير . صودا من النموذج التقليدي . تستبدل الماسورة النازلة عادة بحجرة مزج على المستوى نفسه ، وتتوضع عند جانب حوض أو أحواض ترسيب . يمزج الماء الخام والمواد الكيميائية في هذه الحجرة ، التي تزود عادة بمحراك من النموذج الآلي . ويجري الماء المعالج بما يحمله من رواسب من حجرة المزج بالثقالة إلى حوض أو أحواض الترويق فتستقر العكارة هنا في القاع ، وتزال بمكشطه أو بجهاز قرميدي لإزالة العكارة يتراوح تركيز العكارة المفرغة عادة من 3 . 7 % تقريباً وتضخ عادة إلى الهدر .

تصل فترة التوقيف عادة إلى 4 ساعات ، مع ذلك استخدمت فترات أقصر أو أطول من هذه المدة وتستخدم فترات التوقيف الأطول عادة مع المياه التي لا تهبط درجة حرارتها كثيراً ، والفترات الأطول تزيد الفعالية ولكن هذه الزيادة قليلة . تستخدم عادة مغذيات المواد الكيميائية الجافة ، وقد تكون من نموذج الانطلاق والتوقف من أجل معدلات الجريان المنتظمة ، أو من نموذج التوزيع النسبي من أجل معدلات الجريان المتغيرة والمرشحات المستخدمة مع التصميم الكونكريتي هي

عملياً من النموذج الكونكريتي بالثقالة ويستخدم فيها الرمل أو الأنثرافليت كوسط ترشيح .

إعادة الكربنة : *Recarbonation*

باستثناء المعالجة بزيادة المادة الكيمائية ، بالجير البارد . صودا في الخطوط الحديدية لا تكتمل التفاعلات في الميسر من النموذج(التقليدي) . وبالتالي ستتشكل رواسب لاحقة فوق حبيبات وسط الترشيح ، فتزيد من حجمها ، كما تترسب أيضاً في خطوط أنابيب نقل الصبيب إذا لم تجر إعادة كربنتها أو معادلتها جزئياً بحمض كحمض الكبريت ، وتنجز عملية المادة الكربنة بغاز المداخن المغسول ، المتحصل عادة من موقد فحم الكوك . وفي حالات أخرى يؤخذ الغاز من مدخنة ، أو موقد غازي ، أو موقد الزيت وفي حالات قليلة يستخدم الغاز المستهلك من المحركات ذات الاحتراق الداخلي . ويغسل الغاز عملياً في كل الحالات . تعبأ أجهزة غسل الغاز عادة بالرخام أو بالجير الجيري وترطب برذاذ الماء .

عندما يستخدم الحمض يضاف بكمية كافية لإحداث التوازن الكيميائي في الصبيب إلا إذا كان الصبيب سيستخدم فيما بعد لتغذية المراجل والمعالجة بالزيوليت، ففي هذه الحالات تكفي كمية الحمض المستخدمة لخفض القلوية إلى القدر المرغوب، أو تثبيت المعدل المرغوب من الكبريتات كربونات ويستخدم أحياناً صبيب مبادل كاتيونات الهيدروجين لأغراض تجديد الكربنة .

يمكن استخدام اختبار الرخام المعروف لتقرير ما إذا كان إجراء إعادة الكربنة قد تم بشكل ملائم أم لا ففي هذا الاختبار تعالج عينة من الصبيب المعادة كربنته بمسحوق كربونات الكلسيوم الناعم ، ثم ترشح ، وتقاس قلويتها . يشير انخفاض القلوية في هذا الاختبار إلى أن درجة إعادة الكربنة كانت كافية ، ويشير ارتفاعها إلى أن درجة إعادة الكربنة كانت كبيرة جداً .

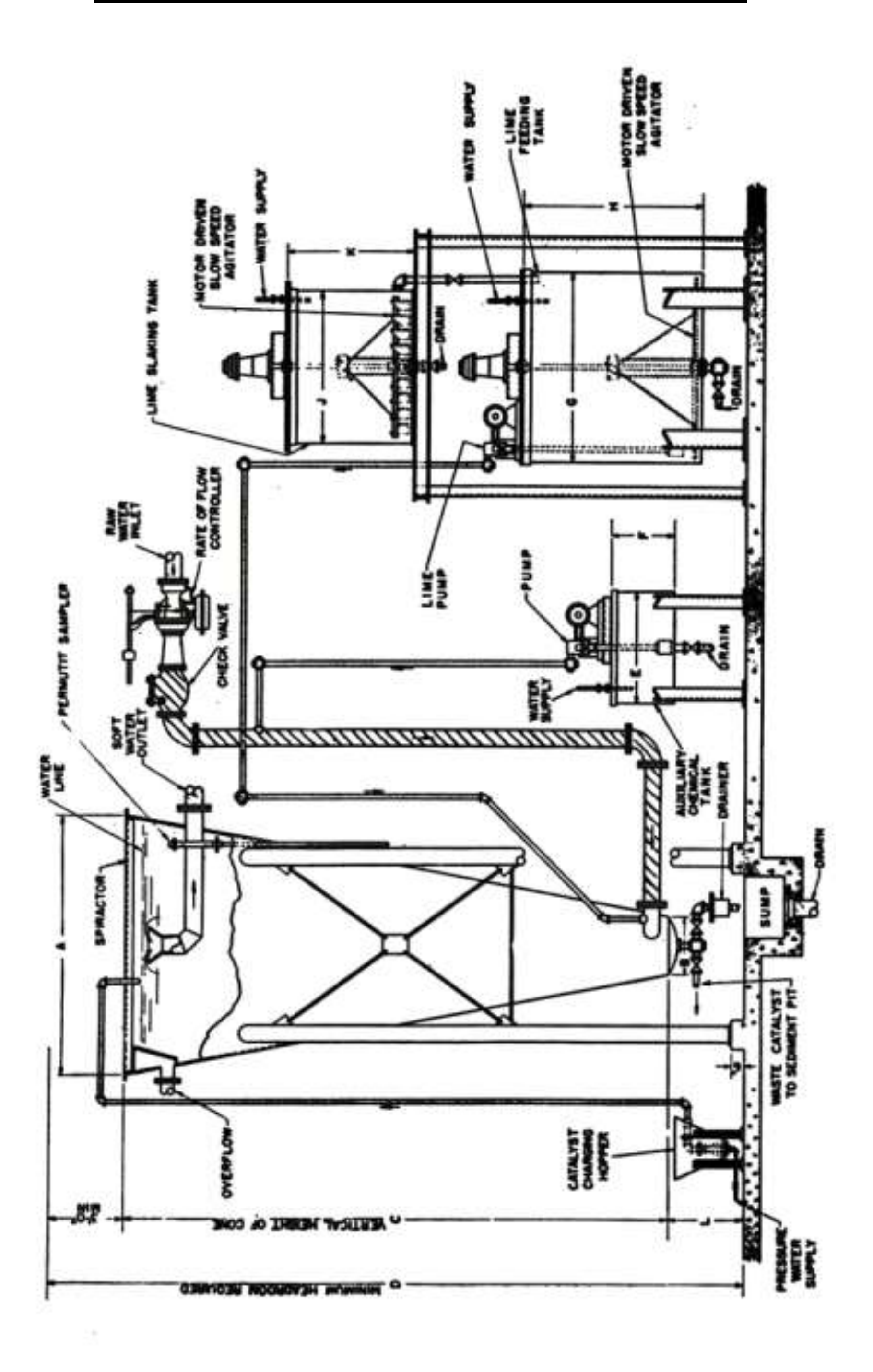
النموذج الحفاز سبايركتور : Catalyst Type Spiractor

وتمثل الصورة 6 . 18 رسماً لمقطع عرضاني لوحدة سبايركتور نموذجية مع خزان للتغذية بالجير وخزان لإطفائه . في هذه المعدات قد تكون المادة الحفازة تقريباً أية مادة معدنية غير ذوابة حبيبية ناعمة (0,3 . 0.6 قطراً) . وكان يستخدم أصلاً مسحوق الكلسيت المتدرج ، ولكن الرمل أو دقائق الرمل الخضراوي ، هي التي تستخدم بدلاً من الكلسيت في هذه الأيام .

كما يظهر في الصورة يتألف السبايركتور من خزان مخروطي ، يملأ حتى ثلثيه تقريباً بمادة حفازة حبيبية ناعمة ، يمكن أن يكون الخزان مغلقاً للعمل تحت الضغط ، أو قد يكون مفتوحاً للعمل بالثقالة . وفي كلا الحالتين يدخل الماء الخام والمواد الكيميائية ، الجير أو الجير ورماد الصودا ، بشكل تماسي عند أسفل المخروط ويتخذ مساراً حلزونياً صعوداً عبر السرير الحفاز المعلق .

تترسب كربونات الكلسيوم المتشكلة بواسطة التفاعل على حبيبات التحفيز بشكل لاحق بحيث تزداد هذه الحبيبات حجماً إلى حد كبير نتيجة تراكم كربونات الكلسيوم عليها . ولكن هيدروكسيد المغنيزيوم لا يشكل رواسب لاصقة ، ولا أهمية لأية مادة مخثرة في جعل رواسب المغنيزيوم لاصقة ، ولذلك تنحصر المعالجة بالسبايركتور إلى حد كبير بإزالة الكلسيوم .

الصورة 6 . 18


LIME SLAKING TANK
MOTOR DRIVEN SLOW SPEED AGITATOR
WATER SUPPLY
LIME FEEDING TANK
MOTOR DRIVEN SLOW SPEED AGITATOR
DRAIN
RAW WATER INLET
RATE OF FLOW CONTROLLER
CHECK VALVE
PERMUTIT SAMPLER
SOFT WATER OUTLET
WATER LINE
SPIRACTOR
LIME PUMP
PUMP
WATER SUPPLY
AUXILIARY CHEMICAL TANK
DRAINER
SUMP
DRAIN
WASTE CATALYST TO SEDIMENT PIT
CATALYST CHARGING HOPPER
OVERFLOW
VERTICAL HEIGHT OF CONE
MINIMUM HEADROOM REQUIRED
PRESSURE WATER SUPPLY

فترة التوقف في السبايركتور أقل منها بكثير في أي نموذج آخر المعدات وهي هنا تتراوح من 8 . 12 دقيقة مقارنة بـ 2 . 4 ساعات في النموذج التقليدي ، وساعة واحدة في نموذج الدثار العكر . وبما أن الناتج الثانوي هو مادة حبيبية تصفى بسرعة إلى أقل من 5 % من الرطوبة فإن إزالتها تكون أسهل بكثير مما هي عليه في عكارة الجير صودا العادية ، التي هي مادة عجينية تحتوي على 90 % من الماء تقريباً .

في تشغيل السبايركتور يتمدد السرير الحفاز مع ازدياد حجم الحبيبات . وبما أن الحبيبات الأكبر تكون في الأسفل ، بتأثير التدريج الهيدرولي ، فإن إزالتها تحدث على فترات دورية ، بواسطة الصمام من النموذج السريع الفتح . ومن الضروري أيضاً ، إضافة مادة حفازة جديدة إلى السرير بين وقت وآخر . وتبلغ هذه الإضافة 0.043 ليبرة في 1000 جالوناً 100 ppm من عسرة الكلسيوم المزالة . يتغير هذا الرقم قليلاً ، اعتماداً على الكمية الموجودة من CO_2 وكمية الجير المتفاعلة مع المغنيزيوم .

كثيراً ما يستخدمون في أوروبا ، في التطبيق العملي ، المذيبات الجيرية مع السبايركتور ، أما في أمريكا فيستخدمون الطين الجيري للتغذية . وقد تكون المغذيات الكيميائية من النموذج السائل أو الجاف . نحتاج إلى المرشحات مع النموذج الحفاز من معدات التيسير ، وقد تكون هذه المرشحات من النموذج الثقالي أو الضغطي ، وقد يكون وسط الترشيح من الرمل أو الانثرافليت أو الكلسيت . وعموماً ، إن ميسر الماء بالجير – صودا ملائم أكثر لتيسير الماء الذي يحتوي على عسرة مؤلفة ، على الأغلب ، من أملاح الكلسيوم ، ودرجة حرارتها فوق 50° ف . أو أنه مهم كخطوة أولية قبل دثار العكارة أو قبل الميسر من النموذج التقليدي .

النموذج المتقطع أو المعالج بالدفعة

Intermittent or Batch - Process Type

سنكتفي بتقديم وصف موجز لهذه النموذج من ميسر الماء بالجير صودا ،لأن استخدامه نادراً . تتألف المنشأة عادة من ثلاث وحدات ، والعمليات متعاقبة التنظيم . فأثناء مزج الماء والمواد الكيميائية في إحدى الوحدات ، يجري ترويق الوحدة الثانية ، ويسحب الصبيب من الوحدة الثالثة للاستخدام .

كان الإجراء العادي للتشغيل في كل وحدة يتم على النحو التالي :

(1) يملأ الصهريج بالماء ، و (2) إضافة كمية من المواد الكيميائية ومزجها بمحرك من النموذج الآلي ، و (3) ترك العكارة تستقر ، (4) سحب الصبيب ، و (5) سحب العكارة . كانت تتحصل نتائج ممتازة مع الدقة في تعبير الجرعة والوقت الكافي للتحريك بكل استخدام هذا النوع من المعدات بسبب :

(1) كلفة المعدات العالية ، و (2) اتساع الحيز الذي تشغله ، و(3) ارتفاع تكاليف العمل .

النتائج مع مختلف المعالجات بالجير البارد صودا (أو الترسيب الكيميائي) :

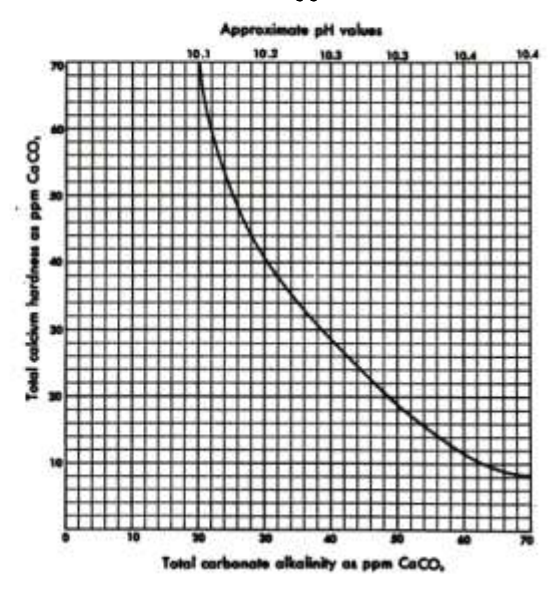
Results With The Various Cold Lime - Soda (or Chemical Processes)

يتضمن الجدول 1− 18 ذوبانيات كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنزيوم (بلغة المكافئات $CaCO_3$) في الماء المقطر ، الخالي من ثاني أكسيد الكربون . وفي الصورتين 7− 18 و 8 − 18 ، تظهر النتائج المضمونة لإزالة هذه المواد في معالجات الجير البارد− صودا على شكل منحنيات عند مختلف درجات القلوية . ونلاحظ أن الرقم المضمون بالنسبة لكربونات الكلسيوم ، هو 35 ppm عند وجود 32 ppm من قلوية الكربونات ، وان الرقم المضمون بالنسبة لهيدروكسيد المغنيزيوم بلغة $CaCO_3$ ، هو 33 ppm عند وجود 33 ppm من قلوية الهيدروكسيد .

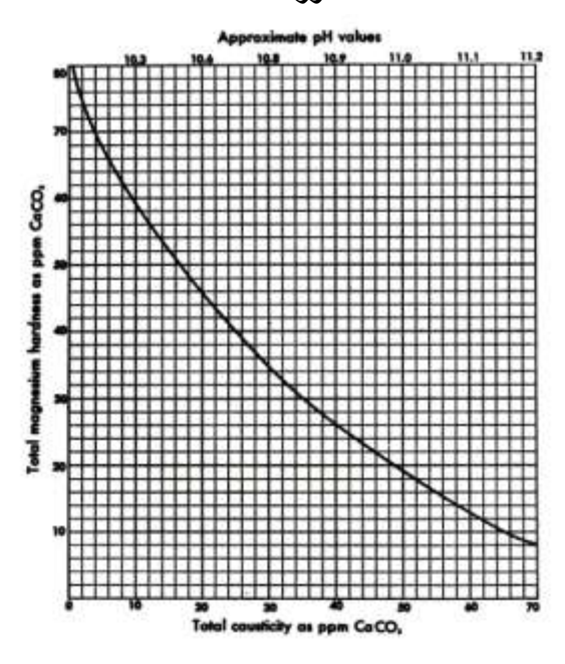
وبمعنى آخر ، يمكن ضمان النتيجة بإنقاص قلوية الكلسيوم إلى 35 ppm عند عدم وجود زيادة في القلوية الكربونات ، وضمان النتيجة بإنقاص هيدروكسيد المغنزيوم إلى 35 ppm عند عدم وجود زيادة في قلوية الهيدروكسيد وبما أن الأرقام المضمونة تحتوي على عامل معقول للأمان (حوالي 1غ / جالون تقريباً) ، فإنها تكون أعلى من الأرقام النظرية للذوبانية .وفي التطبيق العملي ، سوف نجد أن العسرة الثمالية الفعلية . هي أدنى تقريباً من النتائج المضمونة ، التي تتراوح بين هذه الأرقام والأرقام النظرية .

إذا كانت الزيادة في القلوية موجودة ، أي إذا كانت القلوية أكثر من القلوية المغزوة إلى كربونات الكلسيوم و / أو هيدروكسيد المغنيزيوم ، فإن الذوبانيات ستنخفض أكثر ، بسبب وجود الأيونات الشائعة ، وسيكون الرقم الأدنى العملي المضمون حوالي 8 ppm أو 0.5 غ / جالون ، لكل من كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنيزيوم بالمعالجة بالجير – صودا بزيادة المادة الكيميائية (أو المعالجة في الخطوط الحديدية) . لذلك ولأغراض عملية يمكن تخفيف عسرة الكلسيوم عندما تترسب على شكل كربونات كلسيوم دون زيادة في المواد الكيميائية ، إلى حوالي 35 ppm (2غ / جالون) وعسرة المغنيزيوم عند ترسبها على شكل هيدروكسيد المغنيزيوم بدون زيادة مواد كيميائية إلى حوالي 35 ppm (2غ / جالون) مع المياه الخام التي تحتوي على عسرة الكلسيوم والمغنيزيوم بزيادة هذه الكميات يمكن إنقاص إجمالي العسرة ، بدون زيادة مواد كيميائية إلى أقل من 68 ppm (4غ / جالون) تقريباً ومع زيادة المعالجة الكيميائية يمكن خفض العسرة إلى أقل بقليل من 16 ppm (1غ / جالون) .

الصورة 7 . 18



الصورة 8 . 18



مع أنه يمكن إجمالاً استخدام تعبير معالجات تيسير الماء بالجير البارد . صودا لتغطية عدد من معالجات الترسيب على البارد ، يمكن استخدام التصنيف التالي لتفريق مختلف المعالجات :

(1) المعالجة بالجير البارد .

(2)المعالجة بالجير البارد . صودا .

(3) المعالجة بالجير البارد . صودا مع زيادة المادة الكيميائية .

(4) المعالجة بالجير البارد . كلوريد (أو كبريتات الكلسيوم) .

(5) المعالجة بالجير البارد باريوم .

(6) المعالجة بالجير البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين .

المعالجة بالجير البارد : Cold - Lime Process

يمكن استخدام المعالجة بالجير البارد :

(1) لخفض قلوية الكلسيوم أو

(2) لخفض قلوية الكلسيوم وقلوية المغنيزيوم .

والمواد الكيميائية المستخدمة هي : الجير الممياً (أو الجير الكيميائي وجرعة صغيرة من مادة مخثرة , وعند إجراء المعالجة لخفض قلوية الكلسيوم سنقص هذا العامل إلى أقل من 35 ppm وتنقص كمية صغيرة من المغنيزيوم حوالي 10 % تقريباً مع الكلسيوم وعند إجراء المعالجة لإنقاص كلا القلويتين قلوية الكلسيوم وقلوية المغنيزيوم ، ستنخفض قلوية الكلسيوم إلى أقل من35 ppm (2 غ / جالون) ، وقلوية المغنيزيوم إلى أقل من 33 ppm (2 غ / جالون) ومن أجل الجرعات اللازمة والنتائج انظر (حساب الجرعات الكيميائية) في نهاية هذا الفصل .

المعالجة بالجير البارد . صودا : Soda Process – Cold Lime

يمكن استخدام المعالجة بالجير البارد . صودا لخفض عسرة اللاكربونات مع خفض القلوية ونستخدم لهذا الغرض من المواد الكيماوية: الجير المميأ (أو الجير الكيميائي) ورماد الصودا مع جرعة صغيرة من مادة مخثرة عند عدم استخدام زيادة المواد الكيميائية يمكن إنقاص إجمالي رقم العسرة إلى أقل من 68 ppm (4غ / جالون) .

المعالجة بالجير البارد . صودا مع زيادة المواد الكيميائية :
Excess - Chemical Cold Lime - Sods Process

تستخدم المعالجة بالجير البارد . صودا بزيادة المواد الكيميائية على الأغلب ، لتيسير الماء من أجل الخطوط الحديدية ، عندما نريد خفض إجمالي العسرة إلى رقم صغير جداً وتأمين صبيب فيه قيمة PH عالية لتخفيف التآكل الناتج عن النزع الناقص للهواء من مياه التغذية ونستخدم من المواد الكيميائية الجير المميأ (أو الجير الكيميائي) ورماد الصودا (زيادة محددة) إضافة إلى جرعة صغيرة من مادة مخثرة وسيكون إجمالي نقص العسرة الناتج أقل بقليل من 16 ppm (1غ / جالون) ومن أجل الجرعات اللازمة والنتائج انظر حساب الجرعات الكيميائية في نهاية هذا الفصل .

المعالجة بالجير البارد . كلوريد (أو كبريتات) الكلسيوم :
Cold Lime - Calcium Chloride (or Sulphate Process)

تستخدم هذه المعالجة لخفض قلوية المياه التي تحتوي على قلوية الصوديوم ، وهي محددة الاستخدام في صناعة تعبئة القوارير والمواد الكيميائية المستخدمة هي : الجير المميأ , أو الجير الكيميائي , و كلوريد أو كبريتات الكلسيوم ، إضافة إلى جرعة صغيرة من مادة مخثرة . يستخدم كلوريد الكلسيوم، بسبب ذوبانيته العالية أكثر مما تستخدم كبريتات الكلسيوم . في هذه المعالجة يمكن خفض قلوية

الصوديوم إلى الصفر وقلوية الكلسيوم إلى أقل من 35 ppm وقلوية المغنيزيوم إلى أي كمية نريدها ومن أجل الجرعات اللازمة والنتائج انظر حساب الجرعات الكيميائية في نهاية هذا الفصل .

المعالجة بالجير البارد . باريوم Cold Lime – Barium Process

تستخدم هذه المعالجة على نطاق محدود جداً لكنها تستخدم أحياناً لمعالجة مياه تغذية المراجل ذات المحتوى العالي من كبريتات الكلسيوم أو كبريتات المغنيزيوم والمواد الكيميائية المستخدمة هي : الجير المميأ أو الجير الكيميائي وكربونات الباريوم ، إضافة إلى جرعة صغيرة من مادة مخثرة . تبلغ كلفة كربونات الباريوم حوالي أربعة أضعاف كلفة ما يكافئها من رماد الصودا ، بسبب ارتفاع وزنها الجزيئي وبسبب الكلفة في الطن الواحد يجب أن نتذكر عند استخدامنا لكربونات الباريوم ، فإنها سامة جداً وفيما يلي تفاعلات كربونات الباريوم مع كبريتات الكلسيوم ، وتفاعلات كربونات الباريوم مع كبريتات المغنيزيوم والجير :

$$BaSO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + BaCO_3$$

$$BaSO_4 + CaSO_4 + CaCO_3 + Mg(OH)_2 \rightarrow MgSO_4 + Ca(OH)_2 + BaCO_3$$

إن جرعة كربونات الباريوم مقدرة بالباوندات في كل 1000 جالوناً لكل 1 ppm من عسرة الكبريتات معبراً عنها كـ $CaCO_3$ هي 0.0181 .

ملاحظة : مع أن كربونات الباريوم ستتفاعل مع كبريتات الصوديوم فستبقى كمية مكافئة من كربونات الصوديوم في الصبيب بحيث تكون هذه المعالجة مهمة فقط لإزالة كبريتات الكلسيوم وكبريتات المغنيزيوم .

المعالجة بالجير البارد وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين :

Two - Stage Cold Lime and Sodium Cation Exchange Process

في هذه المعالجة ، تخفض عسرة البيكربونات أولاً بالمعالجة بالجير إضافة إلى جرعة صغيرة من مادة مخثرة في ميسر الماء بالجير البارد و هنا تنخفض قيمة PH الصبيب إلى حد ما بـ (1) بإعادة الكربنة ، أو (2) المعالجة بجرعة صغيرة

من حمض الكبريت والترشيح ، وعندئذٍ يمرر الصبيب عبر ميسر الماء بمبادل كاتيونات الصوديوم الذي يزيل عسرة اللاكربونات وعسرة الكربونات الثمالية .

وتكون نوعية الصبيب عملياً ممتازة لأن (1) المعالجة بالجير خفضت إجمالي الجوامد ، و(2) عسرة الصبيب عملياً تكون صفراً بدلاً من 86 ppm - 50 (3 . 4غ / جالون) من العسرة التي ستنتج من المعالجة الكاملة بالجير البارد . صودا . وكذلك مع المياه ذات العسرة العالية من البيكربونات واللاكربونات تكون تكاليف التشغيل أقل لأن إزالة عسرة البيكربونات بالمعالجة بالجير أقل كلفة منها بالمعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم وإزالة عسرة اللاكربونات عن طريق المعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم أقل كلفة منها بالمعالجة بالجير صودا ولكن تكاليف المعدات تصل إلى ضعفها تقريباً في كل منشأة لذاتها عند معالجة المياه الجوفية النقية (ليس عندما تتوجب معالجة المياه العسرة لأن المعالجة بالجير يمكن إنجازها عندئذٍ في المعدات نفسها التي تستخدم لإزالة العكارة) .

إزالة الحديد والمنغنيز Iron and Manganese Removal

عند وجود الحديد والمنغنيز على شكل بيكربونات ثنائية التكافؤ يمكن إزالتها بسهولة بمعالجات الجير البارد . صودا بواسطة التهوية ، لأنها تتأكسد بسرعة إلى أكاسيد عالية مميأة غير ذوابة ، عند قيم عالية للـ PH التي تسود في المعالجة بالجير البارد . صودا يمكن إزالة الحديد و / أو المنغنيز العضوي بالتخثير . انظر الفصل 14 من أجل إزالة الحديد والمنغنيز بالمعالجات بالجير البارد . صودا .

إزالة السيلكا بالمعالجة بالجير البارد . صودا مغنسيا :

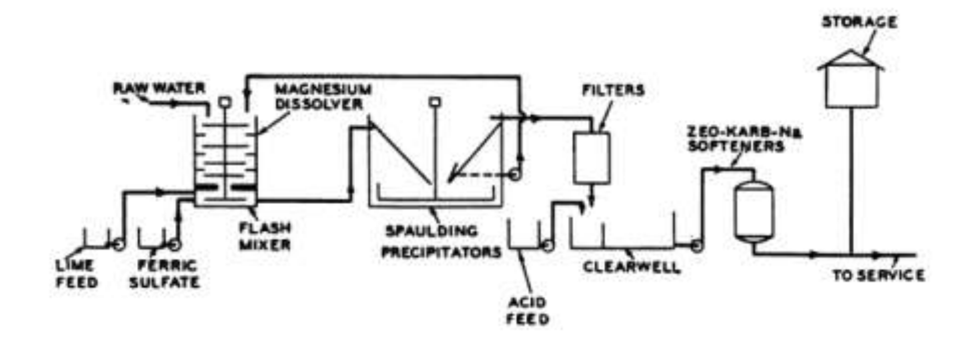
Silica Removal by The Cold Lime - Soda - Magnesia Process

في إزالة السيلكا بهذه الطريقة اكتشف أن هيدروكسيد المغنيزيوم الذي يترسب في الموضع ، أكثر فعالية من أكسيد المغنيزيوم ، و أن هذا يتميأ ببطء

شديد بدرجات الحرارة العادية . وبما أن عسرة المغنيزيوم في الماء الخام تترسب في الموضع على شكل هيدروكسيد مغنيزيوم ، لذلك يكون هذا مهماً في خفض محتوى السيلكا . ولكن مع أغلب المياه ، نحتاج إلى كمية إضافية من المغنسيا لخفض محتوى السيلكا إلى التفاوت المرغوب . وتكون هذه الإضافة اقتصادية أكثر إذا استخدمنا الجير الدولوميتي أو المغنسيا المنشطة ، ومن ثم إعادة تدوير العكارة من خلال مذيب المغنسيا ، كما نلاحظ في الصورة 9 . 18 لحل محتوى المغنسيا كالكربونات أو البيكربونات وتترسب هذه المغنسيا بواسطة الجير على شكل هيدروكسسيد مغنيزيوم في الميسر . يعتمد تأثير المذيب على حقيقة أن البيكربونات وثاني أكسيد الكربون الطليق ، في الماء الخام سيتفاعلان مع المغنسيا في العكارة الدائرة لحل كمية مماثلة منها ، لأن الكربونات ذات الذؤوبية 5 . 6 غ / جالون (85 - 100 ppm) والتي يعبر عنها كـ كربونات أو كـ بيكربونات كلسيوم ذوابة جداً . إذا لم يكن محتوى ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات في الماء الخام كبيراً بما يكفي لحل الكمية اللازمة من المغنسيا . يمكن إدخال بعض من ثاني أكسيد الكربون إلى الماء بواسطة غاز المداخن المأخوذ من المدخنة (أو من موقد لفحم الكوك) ومنفاخ وجهاز لغسل الغاز وشبكة مثقبة .

ملاحظة : ومن الواضح أنه يمكن تلقيم المغنسيا الإضافية على شكل كبريتات أو كلوريد ولكن هذا الإجراء مكلف ، لأنه سيستهلك رماد الصودا ، إضافة إلى الجير في الميسر وبذلك سيزداد إلى حد كبير محتوى الجوامد المنحلة في الصبيب ومن جهة أخرى إن الجير الدولوميتي والمغنسيا المنشطة ، مصدر للمغنسيا أقل كلفة ولا يستهلك رماد الصودا في الميسر ، كما أنه لايزيد من إجمالي محتوى الجوامد .

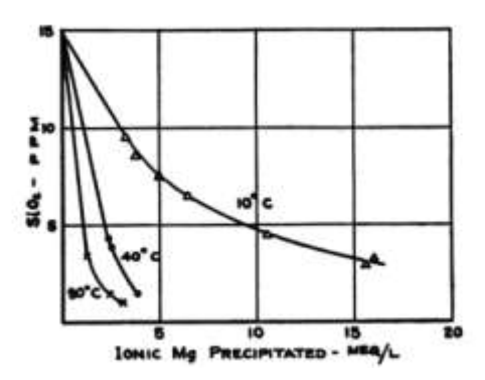
الصورة 9 . 18



عند استخدام الجير الدولوميتي أو الجير الدولوميتي المميأ ، يدخل محتوى أكسيد وهيدروكسيد الكلسيوم إلى تفاعلات التيسير لذلك يجب وضع هذه المسألة في الاعتبار عند حساب الشحنات الكيميائية التي ستستخدم مع المياه ذات العسرة العالية، التي تحتوي على كمية معتدلة من السيلكا ، قد تتألف الجرعات الكيميائية من جير + جير دولوميتي + رماد صودا ، وبالمقابل ، يمكن لهذه الجرعات أن تتألف مع المياه ذات العسرة المنخفضة والمحتوى العالي من السيلكا من الجير الدولوميتي + المغنسيا المنشطة + رماد الصودا .

وفي حالة المياه السطحية ، العكرة أو الغامقة اللون ، التي تحتاج إلى تخثير قبل التيسير يمكن إحداث نقص في محتوى السيلكا عن طريق استخدام كبريتات الحديد كمادة تخثير كما ذكرنا تحت عنوان (إزالة السيلكا بواسطة هيدروكسيد الحديد) في الفصل 13 . وإذا كان الإجراء غير فعال بما يكفي لإنقاص محتوى السيلكا يمكن أن تليه المعالجة بالجير البارد (أو الجير صودا) مغنسيا تظهر الصورة 5 . 18 وحدتين من مجموعة الميسرات بالجير البارد .صودا من نموذج لويزيانا ذي الطابقين والتي تستخدم بعد التخثير وإزالة بعض من محتوى السيلكا عن طريق كبريتات الحديد ، وتلي هذه الميسرات بدورها مبادلات كاتيونات الصوديوم .

الصورة 10 . 18



إن نموذج الدثار العكر لميسر الماء بالجير البارد .صودا .مغنسيا هو النموذج الأوسع استخداماً لإزالة السيلكا لأن التماس الوثيق المتطاول مع زيادة العكارة التي تحتوي على المغنسيا ضروري لإزالة القدر الكافي من السيلكا والميسر من نموذج الدثار العكر يتيح عن طريق الترشيح البطيء الصاعد عبر دثار العكارة المعلقة ، هذا التماس الوثيق المتطاول للماء مع زيادة العكارة الحاوية على المغنسيا .

وكما ذكرنا سابقاً ، إن الزيادة في درجة الحرارة ، تزيد إلى حد كبير فعالية إزالة السيلكا عن طريق المعالجة بالمغنسيا . ويتفاوت هذا إلى حد ما ، اعتماداً على المحتوى الأصلي للسيلكا في المياه الخام ، والمدى الذي نريد للسيلكا أن تنخفض إليه. إن تسخين الماء إلى حوالي 100° ف ، في حالة معينة قد ينقص جرعة المغنسيا اللازمة لإنقاص كمية السيلكا المفترضة إلى الثمالة نفسها ، أي الثلثين أو أكثر ، ورفع درجة الحرارة إلى نقطة الغليان ، ستختزل الجرعة اللازمة عند 100°ف إلى حوالي النصف . تظهر المنحنيات في الصورة 13 . 18 بوضوح هذا التأثير لدرجة الحرارة . ولذلك يعتبر ميسر الماء بالجير الساخن .صودا أكثر فعالية بكثير من ميسر الماء بالجير البارد .صودا في إزالة السيلكا بالمعالجة بالمغنسيا ، وخصوصاً عند العمل بهذه الطريقة بدرجة 60° ف أو أقل . يمكن غالباً

زيادة درجة حرارة الماء ، عند المعالجة بالجير البارد صودا ، عندما يكون القصد هو إزالة السيلكا ، عن طريق الحرارة المهدورة . وفي هذه الحالات يمكن رفع درجة الحرارة إلى حوالي 90°ف ، وهو إجراء يزيد من الفعالية إلى حد كبير .

إزالة الفلوريد Fluoride Removal

كما لاحظنا في الفصل الثاني أن الفلوريدات إذا وجدت بكميات تصل حتى 1ppm في المورد المائي للشرب تفيد في منع تسوس الأسنان ، وإذا زادت عن هذه النسبة فقد تتسبب في تبقع الأسنان عند الناشئين . ويمارس هيدروكسيد المغنيزيوم تأثيراً خافضاً على الفلوريدات ، ولكن الكميات اللازمة كبيرة كما نرى في الجدول 4 . 18 ومن النتائج الواردة في هذا الجدول استنتجت الصيغة التالية لخفض الفلوريدات :

الفلوريد الثمالي = الفلوريد البدئي . (فلوريد بدئي 0.07 × الجذر التربيعي للمغنيزيوم المزال) .

الجدول 4 . 18 المعالجة بالجير البارد . صودا إزالة المغنيزيوم فيما يتعلق بتركيز فلوريد صبيب ذي تركزين للفلوريد ، 1ppm وتركيز بدئي يتراوح من 1.5 - 3.5 ppm .

الفلوريد		المغنيزيوم المزال	
بدئي / ppm	ثمالي/ ppm	منغنيز/ ppm	ppm / $CaCO_3$
3.5	1	146	602
3	1	91	375
2.5	1	73	301
2.0	1	51	210
1.5	1	23	95

يتضح لنا مما ورد أعلاه ، أنه في تيسير الماء ذات عسرة المغنيزيوم العالية ، يمكن الوصول إلى خفض ما لمحتوى الفلوريد ، لكننا نحتاج إلى كميات كبيرة من

المغنسيا لخفض محتوى الفلوريد في المياه التي تحتويه بدرجة عالية وسيكون هذا الإجراء مكلفاً .

إزالة العكارة : *Sludge Disposal*

إن استعادة عكارة الجير البارد . صودا أو إعادة حرقها مسألة بسيطة ومفيدة في مصانع الكرافت أو عجينة الصودا ، لأن هذه المصانع تستعيد يومياً أو تعيد حرق كميات كبيرة من عكارة الجير من الخزانات التي تجدد قلويتها . وترشح ببساطة العكارة الناتجة من معالجة تيسير الماء بالجير البارد . صودا ، ويعاد حرقها مع العكارة الناتجة في الخزانات التي تجدد قلويتها . وحيث تصنع العجينة والورق في المصنع نفسه يمكن الحصول غالباً على استخدام اقتصادي أكثر أيضاً ، بحذف إعادة الحرق ، واستخدام العكارة للمعجونة بدلاً من صنع معجونة كربونات الكلسيوم من الجير أو غاز المداخن شراء .

ولذلك رغم أن إزالة العكارة لا تمثل مشكلة في مصانع الكرافت أو عجينة الصودا ، وستكون مفيدة في أية صناعة أو معالجة بلدية لكميات كبيرة من الجير يومياً ، فإنها كثيراً ما تصبح مشكلة في الصناعات والبلديات ، حيث تكون كميات العكارة الناتجة صغيرة جداً على أن تجعل استعادتها مفيدة . وفي المواضع القريبة من الأنهار يتم التخلص عادة من العكارة بتفريغها إلى هذه الأنهار على شكل جدول صغير نسبياً قد تستخدم العكارة أيضاً كحشوة للبقع المنخفضة أو قد تطرح في حفر معزولة ، وتترك راكدة على مدى أشهر إلى سنة حتى تجف ثم تشحن إلى مقلب نفايات أو تستخدم كجير زراعي .

حسابات الجرعات الكيميائية : *Calculation of chemical Dosages*

الجرعات الكيميائية المستخدمة من مختلف معالجات الجير البارد . صودا منوطة بـ (1) تركيب المياه الخام ، و(2) نوعية الصبيب المطلوب .

وطرق حسابات الجرعات والنتائج الواردة أدناه ستعالج وفقاً للتصنيف التالي وفقاً للمعالجات :

(1) المعالجة بالجير البارد :

(أ) لإنقاص قلوية الكلسيوم .

(ب) لإنقاص قلوية الكلسيوم وقلوية المغنيزيوم .

(2) المعالجة بالجير البارد . صودا :

لإنقاص عسرة البيكربونات واللاكربونات بدون استخدام زيادة المواد الكيميائية

(3) المعالجة بالجير . صودا مع زيادة المواد الكيميائية :

لتخفيف إجمالي العسرة إلى رقم خفيض جدا (ppm 16 تقريباً أو غ / جالون) باستخدام زيادة المواد الكيميائية .

(4) المعالجة بالجير البارد . كلوريد (أو كبريتات) الكلسيوم :

لإنقاص قلوية الكلسيوم و / أو المغنيزيوم و/ أو الصوديوم .

تأثيرات التخثير : Effects of Coagulants

إذا استخدمنا مادة مخثرة يجب أن نضع في اعتبارنا تأثيراتها على تركيب الماء والجرعات الكيميائية . ولأغراض حسابية من المناسب أن نفترض بأن المادة المخثرة كانت أضيفت قبل المواد الأخرى الكيميائية ، وأن نستخدم التحليل الصحيح للمادة المخثرة كقاعدة لكل الحسابات الأخرى .

إزالة أكسيد الكربون الحر Removal of Free Carbon Dioxide

عندما يضاف الجير إلى الماء الخام الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون الطليق تترسب كربونات الكلسيوم ولذلك يجب أن نضع في اعتبارنا عند إضافة جرعة الجير مسألة ثاني أكسيد الكربون الطليق ، إضافة إلى إزالة العسرة . فإذا

كان محتوى الماء الخام من ثاني أكسيد الكربون الطليق عالياً فإنه يمكننا أن نقتصد في جرعة الجير عن طريق تهوية الماء قبل دخوله إلى الميسر .ومن الواضح أن محتوى الصبيب من ثاني أكسيد الكربون الطليق هو صفر في كل هذه المعالجات . وكما لاحظنا سابقاً أنه يمكن خفض قيم الـ PH في أي صبيب عن طريق إعادة الكربنة الجزئية أو بإضافة كمية بسيطة من الحمض .

حسابات خاصة لكل معالجة

Specific Calculations For Each Process

منذ عدة سنوات قام بعضهم بوضع طرق لحساب الجرعات الكيميائية من أجل مرسب البرموتيت ، بحيث يمكن التحقق بسرعة من المعالجة من أجل أية نتائج محددة ، ومعرفة المواد الكيميائية اللازمة للوصول إلى هذه النتائج بأقل عدد من الحسابات . وقد تأسست التوجيهات التالية على تلك الطرق ولكن هناك بعض التبديلات في تسمية المواد وإعادة ترتيبها .

الخطوات الأولى في كل حسابات المعالجات بالجير البارد . صودا :

First Steps in All Cold Lime - Soda Processes Calculations

أول الخطوات تكون بتحويل الماء الخام إلى تحليل مصحح بمادة مخثرة ، الذي يستخدم وأساس لكل الحسابات . وعن طريق معاينة التحليل المصحح بمادة تخثير ، تكتشف بسهولة المعالجة اللازمة للحصول على النتائج المرغوبة ، وعندئذٍ تحسب الجرعات المطلوبة من المواد الكيميائية .

تحويل تحليل الماء Water - Analysis Conversion

تحويل تحليل الماء الخام (الذي يعبر عنه بلغة أجزاء بالمليون كـ $CaCO_3$ باستثناء ثاني أكسيد الكربون الطليق الذي يعبر عنه كأجزاء بالمليون من CO_2) إلى تحليل مصحح بمادة مخثرة ، عن طريق استخدام التصحيحات التالية حسب

مادة التخثير المستخدمة ، إلى ثاني أكسيد الكربون الطليق ، والقلوية (والكبريتات)

الجدول 5 . 18 جرعات مادة التخثير والتأثيرات : الجرعات الواردة هي المستخدمة عادة (مواد التخثير الثلاث الأولى تزيد ثاني أكسيد الكربون الطليق ، وتنقص القلوية وتزيد الكبريتات بعدد من أجزاء المليون كما نرى ، والمادة الرابعة تنقص ثاني أكسيد الكربون الطليق وتزيد القلوية بعدد من أجزاء المليون كما نرى .

تحليل الماء الخام	تصحيحات لمختلف مواد التخثير			
مقومات تتأثر بجرعات مواد التخثير المستخدمة	كبريتات الألمنيوم 20 ppm	كبريتات الحديدي 20 ppm	كبريتات الحديد 10 ppm	ألومينات الصوديوم 10 ppm
ثاني أكسيد الكربون الحر (ppm CO_2)	+ 8	+ 6	+ 6	− 6
قلوية (ppm $CaCO_3$)	− 9	− 7	− 6	+ 6
كبريتات (ppm $CaCO_3$)	+ 9	+ 7	+ 6	لا يوجد

التحليل المصحح بمادة مخثرة : Coagulant - Corrected Analysis

بمعاينة التحليل المصحح بمادة مخثرة ، يمكن تحديد وجود أو غياب المقومات التالية ، والكميات الموجودة منها ، حسب القواعد التالية:

(1) قلوية الكلسيوم = عسرة أو قلوية الكلسيوم ، مهما كانت قليلة (من الواضح ، كل واحدة عند التساوي) .

(2) آ . قلوية المغنيزيوم = عسرة المغنيزيوم ، إذا كانت القلوية مساوية أو أكبر من إجمالي العسرة ، أو :

ب . قلوية المغنيزيوم = القلوية – عسرة الكلسيوم ، إذا كانت القلوية أكبر من عسرة الكلسيوم ، لكنها أقل من إجمالي العسرة .

(3) قلوية الصوديوم = القلوية – إجمالي العسرة .

(4) عسرة لاكربونات الكلسيوم = عسرة الكلسيوم – قلوية الكلسيوم

(5) عسرة لاكربونات المغنيزيوم = عسرة المغنيزيوم – قلوية المغنيزيوم

(6) عسرة اللاكربونات الإجمالية = إجمالي العسرة– القلوية .

ملاحظة : القلوية أعلاه (قاطعة) هي إجمالي القلوية أو قلوية برتقالي المثيل، ويعبر عنها كأجزاء بالمليون من $CaCO_3$. ومن الواضح ، أنه أعطى الحساب نتيجة الصفر أو نتيجة سلبية ، فالمادة غير موجودة .

الثمالات القصوى المضمون : Guaranteed Maximum Residuals

يقدم المنحنى في الصورة 7– 18 الأرقام القصوى العادية المضمونة ، بالنسبة لثمالات كربونات الكلسيوم عند مختلف قلوية الكربونات . وتقدم الصورة 8 – 18 الأرقام القصوى المضمونة ، بالنسبة لثمالات هيدروكسيد المغنيزيوم ، عند مختلف قلويات الهيدروكسيد (الكاوية) . وكما لاحظنا سابقاً ، ستكون الثمالات الحقيقة أقل تقريباً من هذه الأرقام .

رموز مستخدمة : Symbols Used

كل الكميات المستخدمة هي أجزاء بالمليون . لم نختصر نتائج الصبيب تشير جميع المختصرات إلى المقومات في التحليل المصحح بمادة تخثير وهي كما يلي :

TH = إجمالي العسرة

NCH = عسرة اللاكربونات

AlK = القلوية الكلية تجاه الميتيل البرتقالي

Ca Alk = قلوية الكلسيوم

Ca H = عسرة الكلسيوم

Ca NCH = **عسرة لاكربونات الكلسيوم**

Mg AlK = **قلوية المغنيزيوم**

Mg H = **عسرة المغنيزيوم**

Mg NCH = **عسرة لاكربونات المغنيزيوم**

Na AlK = **قلوية الصوديوم**

المعالجة بالجير البارد : خفض قلوية الكلسيوم :

Cold Lime Process: Calcium Alkalinity Reduction

النتائج Results :

إزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق . خفض قلوية الكلسيوم إلى 35 ppm . يزال حوالي 10 % من عسرة المغنيزيوم . ستكون قلوية الكربونات 35 ppm إذا وجدت أية قلوية فوق 35 ppm ، تكون قلوية البيكربونات . واعتماداً على وجود أو عدم وجود البيكربونات ، يمكن أن تتراوح قيم الـ PH من حوالي 9 – 10.2 .

تركيب الصبيب Composition of Effluent :

(1) إذا كانت قلوية المغنيزيوم مساوية أو أكثر من 10% من عسرة المغنيزيوم

فعسرة الكلسيوم = (35 + عسرة الكلسيوم) – قلوية الكلسيوم .

وإذا وجدت قلوية المغنيزيوم بأقل من 10% من عسرة المغنيزيوم

فعسرة الكلسيوم = (35+ عسرة الكلسيوم + 10% عسرة المغنيزيوم) – القلوية

وإذا لم تكن عسرة المغنيزيوم موجودة

فعسرة الكلسيوم = (35 +عسرة الكلسيوم + 10% عسرة المغنيزيوم) – قلوية الكلسيوم .

(2) بما أن 10% من عسرة المغنيزيوم تترسب

فعسرة المغنيزيوم = عسرة المغنيزيوم 90 %

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم

(4) إذا كانت قلوية المغنيزيوم مساوية أو أكثر من 10 % من عسرة المغنيزيوم

فالقلوية = (35 + القلوية) – (قلوية الكلسيوم + 10 % عسرة المغنيزيوم)

.

إذا وجدت قلوية المغنيزيوم ، ولكن بأقل من 10% من عسرة المغنيزيوم

فالقلوية = (35 + القلوية) – (قلوية الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم)

إذا لم توجد قلوية المغنيزيوم

فالقلوية = (35 + القلوية) – قلوية الكلسيوم .

الجدول 6 – 18 . المعالجة بالجير البارد لخفض قلوية الكلسيوم :

الجرعات اللازمة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي .

ليبرة / 1000 جالوناً	**ليبرة / 1000 جالوناً**	
	جير مميأ %93 Ca(OH)2	أو جير كيميائي %90 Ca (OH)2
ثاني أكسيد الكربون الطليق (أجزاء بالمليون)	**0.0151 ×**	**0.0118 ×**
قلوية الكلسيوم ($CaCO_3$ بالمليون)	**0.00663 ×**	**0.00519 ×**
قلوية المغنيزيوم المزالة ($CaCO_3$ بالمليون)	**0.0133×**	**0.0104**
عسرة لاكربونات المغنيزيوم ($CaCO_3$ بالمليون)	**0.00663 ×**	**0.00519**

المعالجة بالجير البارد : إنقاص قلوية الكلسيوم وقلوية المغنيزيوم :

Cold Lime Process: Calcium and Magnesium Alkalinities Reduction

النتائج Results :

إزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق . تخفض عسرة الكلسيوم إلى 35 ppm يمكن تخفيض قلوية المغنيزيوم إلى درجة ثابتة ، مع مميزات الصبيب المرغوبة واقتصاد المعالجة (انظر الفصلين 11 – 18) . إذا أجريت المعالجة بحيث لا تبقى قلوية ، تتم كربنة كامل القلوية ، ستكون قيمة الـ PH 10.2 تقريباً . إذا أدت المعالجة إلى الكاوية ، يمكن تحديد الكمية (وPH تقريبية) من الصورة 8 – 18 ، والباقي قلوية الكربونات .

تركيب الصبيب : Composition of Effluent

(1) عسرة الكلسيوم = 35

(2) عسرة المغنيزيوم = أية كمية مرغوبة نزولاً إلى الحد الأدنى .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم

(4) القلوية = (35 + القلوية) – (عسرة الكلسيوم – تخفيض عسرة المغنيزيوم)

(آ) إذا كانت عسرة لاكربونات المغنيزيوم أقل من 80 ppm

فعسرة المغنيزيوم – إجمالي القلوية لعسرة المغنيزيوم = عسرة اللاكربونات

(ب) إذا كانت عسرة لاكربونات المغنيزيوم أكثر من 80 ppm ، تكون عسرة المغنيزيوم = عسرة لاكربونات المغنيزيوم .

(ج) إذا وجدت قلوية الصوديوم حتى مدى أكبر من 62 ppm ، تكون عسرة المغنيزيوم الأصغرية الاقتصادية 8 ppm .

(د) إذا وجدت قلوية الصوديوم حتى 62 ppm أو أقل تحدد عسرة المغنيزيوم الأصغرية الاقتصادية كما يلي :

إجمالي القلوية لعسرة المغنيزيوم – عسرة المغنيزيوم النهائية = قلوية الصوديوم

الجدول 7 – 18 . المعالجة بالجير البارد لإنقاص قلوية الكلسيوم والمغنيزيوم : الجرعات اللازمة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي .

	ليبرة/ جالوناً	
	جير كيميائي %93 $Ca(OH)_2$	جير كيميائي %90CaO
ثاني أكسيد الكربون الطليق CO_2 بالمليون	**×0.0151**	**×0.0118**
القلوية ($CaCO_3$ بالمليون)	**×0.00663**	**×0.00519**
قلوية المغنيزيوم المزالة ($CaCO_3$ بالمليون)	**×0.00663**	**×0.00519**
كاوية الصبيب ($CaCO_3$)	**×0.00663**	**×0.00519**

المعالجة بالجير البارد– صودا Cold Lime - Soda Process

فكرة عامة General :

عند إجراء معالجة الجير البارد– صودا من غير زيادة المواد الكيميائية ، فإنها تستخدم لخفض عسرة البيكربونات واللاكربونات . وبالتالي يستخدم رماد الصودا ، إضافة إلى الجير المميأ أو الجير الكيميائي . وتتفاوت الجرعات الكيميائية ، ليس فقط وفقاً لتركيب الماء ، بل أيضاً مع الدرجة لإزالة عسرة اللاكربونات . يمكن تبسيط الحسابات بتقسيم المياه إلى ثلاثة أصناف وفقاً لتركيبها ، ثم تجزئتها من جديد مرتين ، وفقاً لما إذا كنا نريد تخفيض عسرة لاكربونات الكلسيوم وحدها ، أو تخفيف عسرة لاكربونات الكلسيوم وعسرة لاكربونات المغنيزيوم .

التصنيف Classification :

يمكن تجزئة الماء الذي يحتوي على عسرة اللاكربونات إلى ثلاثة أصناف :

يحتوي الصنف 1	يحتوي الصنف2	يحتوي الصنف 3
قلوية الكلسيوم	قلوية الكلسيوم	حمض معدني حر
عسرة لاكربونات الكلسيوم	قلوية المغنيزيوم	عسرة لاكربونات الكلسيوم
عسرة لاكربونات المغنيزيوم	عسرة لاكربونات المغنيزيوم	عسرة لاكربونات المغنيزيوم

الصنف 1-(آ) تمكن معالجته لخفض قلوية الكلسيوم وعسرة لاكربونات الكلسيوم ،

(ب) تمكن معالجته لخفض قلوية الكلسيوم ، وعسرة لاكربونات الكلسيوم ، وعسرة لاكربونات المغنيزيوم

الصنف 2- تمكن معالجته لخفض القلوية وعسرة لاكربونات المغنيزيوم .

الصنف3- (آ) تمكن معالجته لخفض عسرة لاكربونات الكلسيوم .

(ب) تمكن معالجته لخفض عسرة لاكربونات الكلسيوم ، وعسرة لاكربونات المغنيزيوم .

الصنف-1(آ) : النتائج : إزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق . خفض قلوية الكلسيوم إلى ppm35 ، ويمكن إجراء إزالة جزء أو كل عسرة لاكربونات الكلسيوم . تزال حوالي 10% من عسرة المغنيزيوم . القلوية في الصبيب هي قلوية الكربونات 35ppm ، وPH تقارب 10.2 .

الصنف1(آ) : تركيب الصبيب :

(1) عسرة الكلسيوم= خفض الكمية المرغوبة إلى 35 .

(2) عسرة المغنيزيوم= 90% من عسرة المغنيزيوم .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم+ عسرة المغنيزيوم .

(4) القلوية = 35 .

الصنف1(ب) : النتائج : يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق . تخفض عسرة الكلسيوم إلى35 ppm

تخفض عسرة لاكربونات المغنيزيوم إلى الكمية المرغوب (انظر الصورة 8 – 18) . وتحدد القلوية من الصورة 8 – 18 ، وسيكون باقي القلوية هي قلوية الكربونات . ويمكن مقارنة قيمة الـ PH من الصورة 8 – 18 .

الصنف 1 (ب) : تركيب الصبيب :

(1) عسرة الكلسيوم = 35 .

(2) عسرة المغنيزيوم = الكمية المرغوبة (انظر الصورة 8 – 18) .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم .

(4) القلوية = 35 + رقم ppm القلوية في الصبيب .

الجدول 8 – 18 . المعالجة بالجير البارد – صودا :

الصنف 1(آ) : لخفض قلوية الكلسيوم وعسرة لاكربونات الكلسيوم :

جرعات الجير المميأ أو الجير الكيميائي ورماد الصودا المطلوبة .

	ليبرة / 1000 جالون		
	جير مميأ $Ca(OH)_2$ 93%	جير كيميائي أو Cao 90 %	رماد الصودا Na_2CO_3 98%
ثاني أكسيد الكربون الحر (ppm CO_2)	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد
القلوية ppm $CaCO_3$	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد
عسرة لاكربونات الكلسيوم التي ستزال ppm $CaCO_3$	لا يوجد	لا يوجد	0.00901
عسرة المغنيزيوم 10 % ppm $CaCO_3$	× 0.00663	0.00519	0.00901

الجدول 9 – 18 . المعالجة بالجير البارد– صودا :

الصنف1 (ب) : لإنقاص القلوية وإجمالي عسرة اللاكربونات :

الجرعات اللازمة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي ورماد الصودا .

	(ليبرة /1000 جالون)		
	جير مميأ $Ca(OH)_2$ %93	جير كيميائي CaO %90	رماد الصودا Na_2CO_3 %98
ثاني اكسيد الكربون الحر (ppm CO_2)	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد
القلوية (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد
عسرة لاكربونات المغنيزيوم التي تزال ppm $CaCO_3$	× 0.00663	× 0.00519	× 0.00901
القلوي في الصبيب ppm $CaCO_3$	× 0.00663	× 0.00519	× 0.00901
عسرة لاكربونات الكلسيوم ppm $CaCO_3$	لا يوجد	لا يوجد	× 0.00901

الصنف 2 : النتائج :

يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق . تخفض قلوية الكلسيوم إلى 35 ppm . يمكن خفض عسرة المغنيزيوم إلى الكمية المرغوبة (انظر الصورة 8 – 18) يمكن تحديد القلوية في الصبيب من الصورة 8 – 18 ، ويكون الباقي قلوية الكربونات . قد تقارب قيمة PH من الصورة 8 – 18 .

الصنف 2 : تركيب الصبيب :

(1) عسرة الكلسيوم = 35

(2) عسرة المغنيزيوم = الكمية المرغوبة (انظر الصورة 8 – 18) .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم .

(4) القلوية = 35 + رقم ppm القلوية في الصبيب .

الجدول 10 – 18 المعالجة بالجير البارد – صودا :

الصنف 2 : لخفض القلوية وعسرة لاكربونات المغنيزيوم :

الجرعات اللازمة من الجير المميأ والجير الكيميائي ورماد الصودا

	(ليبرة / 1000 جالون)		
	جير مميأ % $93Ca(OH)_2$	جير كيميائي % 90 CaO	رماد الصودا $\%98Na_2CO_3$
ثاني أكسيد الكربون الطليق ppm CO_2	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد
القلوية (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.0519	لا يوجد
قلوية المغنيزيوم (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد
عسرة لاكربونات المغنيزيوم التي تزال ppm $CaCO_3$	× 0.00663	× 0.00519	× 0.00901
قلوية الصوديوم (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	× 0.00901

الصنف 3 (أ) النتائج :

تزال الحموضة المعدنية . يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق .

يمكن إنقاص عسرة لاكربونات الكلسيوم إلى 35 ppm يزال حوالي 10% من عسرة المغنيزيوم القلوية هي قلوية الكربونات 35 ppm قيمة PH تقارب 10.2 .

الصنف 3 (أ) : تركيب الصبيب :

(1) عسرة الكلسيوم = خفض الكمية المرغوبة إلى 35 .

(2) عسرة المغنيزيوم = 90 % من عسرة لاكربونات المغنيزيوم .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم .

(4) القلوية = 35 .

الجدول 11 . 18 المعالجة بالجير البارد . صودا :

الصنف 3 (أ) : لإنقاص عسرة لاكربونات الكلسيوم :

الجرعات المطلوبة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي ورماد الصودا .

	(ليبرة ppm جالوناً)		
	جير مميأ %93 $Ca(OH)_2$	جير كيميائي %90 CaO	رماد الصودا %98 Na2CO3
ثاني أكسيد الكربون الطليق ppm CO_2	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد
حمض معدني ($ppm\ CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	0.00901
10% عسرة لاكربونات المغنيزيوم ($ppm\ CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	0.00901
عسرة لاكربونات (التي تزال ($ppm\ CaCO_3$)	لا يوجد	لا يوجد	×0.00901

الصنف 3 (ب) النتائج :

___ تزال الحموضة المعدنية . يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق . تخفض عسرة لاكربونات الكلسيوم إلى 35 ppm تخفض عسرة لاكربونات المغنيزيوم إلى الكمية المرغوبة (انظر الصورة 8 . 18) . يمكن تحديد القلوية من الصورة 11 . 18 وباقي القلوية هي قلوية الكربونات يمكن تحديد قيمة الـPH التقريبية من الصورة 8 . 18 .

الصنف 3 (ب) تركيب الصبيب :

(1) عسرة الكلسيوم = 35

(2) عسرة المغنيزيوم = الكمية المرغوبة (انظر الصورة 8 . 18) .

(3) إجمالي العسرة = عسرة الكلسيوم + عسرة المغنيزيوم .

(4) القلوية = 35 + رقم ppm القلوية في الصبيب .

الجدول 12 . 18 المعالجة بالجير البارد . صودا .

الصنف 3 (ب) لإنقاص إجمالي عسرة اللاكربونات :

الجرعات المطلوبة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي ورماد الصودا .

	(ليبرة / 1000 جالوناً)

	جير مميأ %93 $Ca(OH)_2$	جير كيميائي %90 CaO	رماد الصودا %98 Na_2CO_3
ثاني أكسيد الكربون الطليق (ppm CO_2)	**0.0151 ×**	**0.0118**	**لا يوجد**
حمض معدني (ppm $CaCO_3$)	**0.00663 ×**	**0.00519 ×**	**0.00901**
عسرة لاكربونات المغنيزيوم (ppm $CaCO_3$)	**0.00663 ×**	**0.00519 ×**	**0.00901 ×**
الكاوية في الصبيب (ppm $CaCO_3$)	**0.00663 ×**	**0.00519 ×**	**0.00901 ×**
عسرة لاكربونات الكلسيوم (ppm $CaCO_3$)	**لا يوجد**	**لا يوجد**	**0.00901 ×**

المعالجة بزيادة المواد الكيميائية :

أو بالجير البارد . صودا في الخطوط الحديدية :

Excess - Chemical or Railway Cold Lime - Soda Process

النتائج :

إزالة ثاني أكسيد الكربون الطليق . يمكن إنقاص إجمالي العسرة إلى حوالي ppm 16 (1غ / جالون) زيادة القلوية عادة بين 5 و 9غ / جالون (85 – 155 ppm) قيمة PH تزيد قليلاً عن 11 .

تركيب الصبيب : يختلف تركيب الصبيب إلى حد ما اعتماداً على زيادات المواد الكيميائية المستخدمة وفيما يلي تحليل نموذجي لصبيب المعالجة بالجير البارد . صودا بزيادة المواد الكيميائية :

(1) عسرة الكالسيوم	8 ppm
(2) عسرة المغنيزيوم	8 ppm
(3) إجمالي العسرة	16 ppm

(4) إجمالي القلوية 140 ppm

(5) قلوية الصوديوم 124 ppm

(6) القلوية 70 ppm

(7) PH 11.2

الجدول 13 . 18 المعالجة بزيادة المواد الكيميائية

أو بالجير البارد . صودا في الخطوط الحديدية :

الجرعات اللازمة من الجير المميأ أو الجير الكيميائي ورماد الصودا .

	(ليبرة / 1000جالون)		
	جير مميأ %93 Ca(OH)2	جير كيميائي %90 CaO	رماد صودا %98 NaCO3
ثاني أكسيد الكربون الطليق (ppm CO_2)	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد
القلوية(ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	0.00519	لا يوجد
عسرة الغنزيوم التي ستزال (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد
الكاوية في الصبيب (ppm $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد
إجمالي عسرة اللاكربونات (ppm $CaCO_3$)	لا يوجد	لا يوجد	0.00901
قلوية الصوديوم ppm $CaCO_3$	لا يوجد	لا يوجد	0.00901

المعالجة بالجير البارد . كلوريد أو كبريتات الكالسيوم :

Cold Lime - Calcium Chloride or Sulfate Process

النتائج :

يزال ثاني أكسيد الكربون الطليق . يمكن خفض قلوية الصوديوم إلى الصفر. يمكن خفض قلوية الكالسيوم إلى 35 ppm وإذا كانت قلوية المغنيزيوم أقل من 80 ppm ، يمكن بواسطة الجير إزالة 10% منها ، ويخفض الباقي إلى أي رقم مرغوب عن طريق المعالجة بكلور أو كبريتات الكالسيوم ، وإذا كانت أكثر من 80 ppm يمكن خفضها إلى هذا الرقم بواسطة الجير ويخفض الباقي إلى الرقم المرغوب بكلور أو كبريتات الكالسيوم والقلوية في الصبيب هي قلوية الكربونات .

تركيب الصبيب :

(1) قلوية الصوديوم = لا يوجد

(2) قلوية الكالسيوم = 35

(3) قلوية المغنيزيوم = الكمية المطلوبة .

(4) القلوية = قلوية الكالسيوم + قلوية المغنيزيوم .

(5) عسرة الكالسيوم = قلوية الكالسيوم = 35 .

(6) (أ) عسرة المغنيزيوم 90 %عسرة المغنيزيوم إذا وجدت بمقدار 80 ppm أو أقل ، أو (ب) عسرة المغنيزيوم = 80 % إذا كانت عسرة المغنيزيوم أكثر من 80 ppm .

(7) العسرة الكلية = قلوية الكالسيوم + عسرة المغنيزيوم .

الجدول 14 . 18 المعالجة بالجير البارد . كلوريد أو كبريتات الكالسيوم

لإنقاص قلوية الصوديوم :

الجرعات اللازمة من الجير المميأ أو الكيميائي وكلور أو كبريتات الكالسيوم (الجبس)

	(ليبرة / 1000 جالوناً)

	جير مميأ %93 $Ca(OH)_2$	جير كيميائي %90 CaO	$CaCl_2$ %75	$CaSO_4$ %79
ثاني أكسيد الكربون الطليق (ppm/ CO_2)	× 0.0151	× 0.0118	لا يوجد	لا يوجد
القلوية (ppm/ $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد	لا يوجد
عسرة المغنيزيوم التي تزال (ppm/ $CaCO_3$)	× 0.00663	× 0.00519	لا يوجد	لا يوجد
قلوية الصوديوم (ppm / $CaCO_3$)	لا يوجد	لا يوجد	× 0.0123	× 0.0143
قلوية المغنيزيوم (ppm/ $CaCO_3$) التي تحتاج كلوريد أو كبريتات الكالسيوم	لا يوجد	لا يوجد	× 0.0123	× 0.0134

الجدول 15 . 18 المعالجات بالجير البارد . صودا :

التفاعلات الكيميائية في معالجات الجير البارد ، والجير صودا . والجير كلوريد الكالسيوم ، والجير . باريوم .

(*1*) *Coagulants with Bicarbonate Alkalinity*

$$\left.\begin{matrix}Ca\\3Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}(HCO_3)_2 + Al_2(SO_4)_3\cdot 18H_2O \rightarrow \left.\begin{matrix}Ca\\3Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}SO_4 + 2Al(OH)_3 + 18H_2O + 6CO_2$$

$$\left.\begin{matrix}Ca\\3Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}(HCO_3)_2 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow \left.\begin{matrix}Ca\\3Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}SO_4 + 2Fe(OH)_3 + 6CO_2$$

$$\left.\begin{matrix}Ca\\2Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}(HCO_3)_2 + 2FeSO_4\cdot 7H_2O + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow \left.\begin{matrix}Ca\\2Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}SO_4 + 2Fe(OH)_3 + 13H_2O + 4CO_2$$

(*2*) *Free Carbon Dioxide with Hydrated Lime*

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

(*3*) *Calcium Alkalinity with Hydrated Lime*

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH_2) \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(*4*) *Magnesium Alkalinity with Hydrated Lime*

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(*5*) *Calcium Noncarbonate Hardness with Soda Ash*

$$Ca\left\{\begin{matrix}SO_4\\Cl_2\\(NO_3)_2\end{matrix}\right. + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2\left\{\begin{matrix}SO_4\\Cl_2\\(NO_3)_2\end{matrix}\right.$$

(*6*) *Magnesium Noncarbonate Hardness with Soda Ash and Hydrated Lime*

$$Mg\left\{\begin{matrix}SO_4\\Cl_2\\(NO_3)_2\end{matrix}\right. + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2\left\{\begin{matrix}SO_4\\Cl_2\\(NO_3)_2\end{matrix}\right.$$

(*7*) *Sulfuric Acid with Soda Ash and Hydrated Lime*

$$H_2SO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

(*8*) *Sodium Bicarbonate Alkalinity with Calcium Chloride and Hydrated Lime*

$$2NaHCO_3 + CaCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2NaCl + 2H_2O$$

(*9*) *Magnesium Bicarbonate Alkalinity with Calcium Chloride and Hydrated Lime*

$$Mg(HCO_3)_2 + CaCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + MgCl_2 + 2H_2O$$

(*10*) *Calcium Sulfate with Barium Carbonate*

$$CaSO_4 + BaCO_3 \rightarrow CaCO_3 + BaSO_4$$

(*11*) *Magnesium Sulfate with Barium Carbonate and Hydrated Lime*

$$MgSO_4 + BaCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + BaSO_4$$

(*12*) *Slaking of Chemical Lime with Water*

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

(*13*) *Hydrated Lime with Soda Ash*

$$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaOH$$

الفصل التاسع عشر

معالجات تيسير الماء الساخن

Hot Water Softening Processes

معالجات تيسير الماء الساخن

Hot Water Softening Processes

تنجز معالجات تيسير الماء التي أتينا على وصفها سابقاً ، مع استثناء واحد هو التقطير ، فيما يدعى بدرجات الحرارة العادية ، أي أن الماء لا يحتاج فيها إلى تسخين . وتختلف معالجات تيسير الماء الساخن في كونها تنجز بدرجات حرارة تقارب درجة الغليان . وبسبب ارتفاع درجات الحرارة ، تقتصر هذه المعالجات الساخنة عادة على معالجة مياه تغذية المراجل . ولكن هناك بعض الاستثناءات ، منها تيسير مياه المعالجة التي تستخدم في تعدين الكبريت بطريقة فراش . ويمكن تصنيف هذه المعالجات الساخنة بشكل عام في ثلاثة مجموعات رئيسية وكما يلي :

(1) المعالجة الساخنة بالجير صودا .

(2) المعالجة الساخنة بالجير صودا والفوسفات ذات المرحلتين .

(3) المعالجة الساخنة بالجير وتبادل كاتيونات الصوديوم ذ ت المرحلتين

علاوة على ذلك يمكن إضافة إزالة السيليكا إلى أي من هذه المعالجات . وفيما يتعلق بهذه الناحية ، فإن أي كمية تزال من عسرة المغنيزيوم في معالجة التيسير ، سوف تؤثر على كمية معينة لإزالة السيليكا . وإذا كانت هذه المعالجة غير كافية يمكن إنجاز خفض إضافي عن طريق استخدام الجير الدولوميتي أو المغنسيا المنشطة ، كما سنذكر فيما بعد في هذا الفصل ، و إلى مثل هذه المعالجات ترتبط تسمية إزالته السيليكا .

ووفقاً للقاعدة العامة التي تفيد بأن سرعة التفاعلات الكيميائية تتضاعف تقريباً مع كل ارتفاع مقداره 18° ف (10 مئوية) في درجة الحرارة ، فتحدث التفاعلات في المعالجات الساخنة على نحو أسرع بمائة مرة مما هي عليه في المعالجات الباردة بالجير صودا . وكذلك تكون الرواسب المتشكلة بدرجات الحرارة

الأعلى أكبر وأثقل ، وبما أن الماء الساخن أقل لزوجة من الماء البارد ، يحدث الترسيب بسرعة أكبر بحيث لا تحتاج المعالجات الساخنة إلى مادة تخثير على خلاف المعالجات الباردة وتختلف المعالجات الساخنة أيضاً عن المعالجات الباردة في كونها لا تحتاج لإضافة الجير من أجل محتوى ثاني أكسيد الكربون الطليق ، لأن هذا يطرد بالتسخين قبل إضافة المواد الكيميائية .

المعالجة الساخنة بالجير صودا : The Hot - Lime Soda Process

المعالجة الساخنة بالجير صودا معالجة متواصلة يتم فيها :

(1) تسخين الماء .

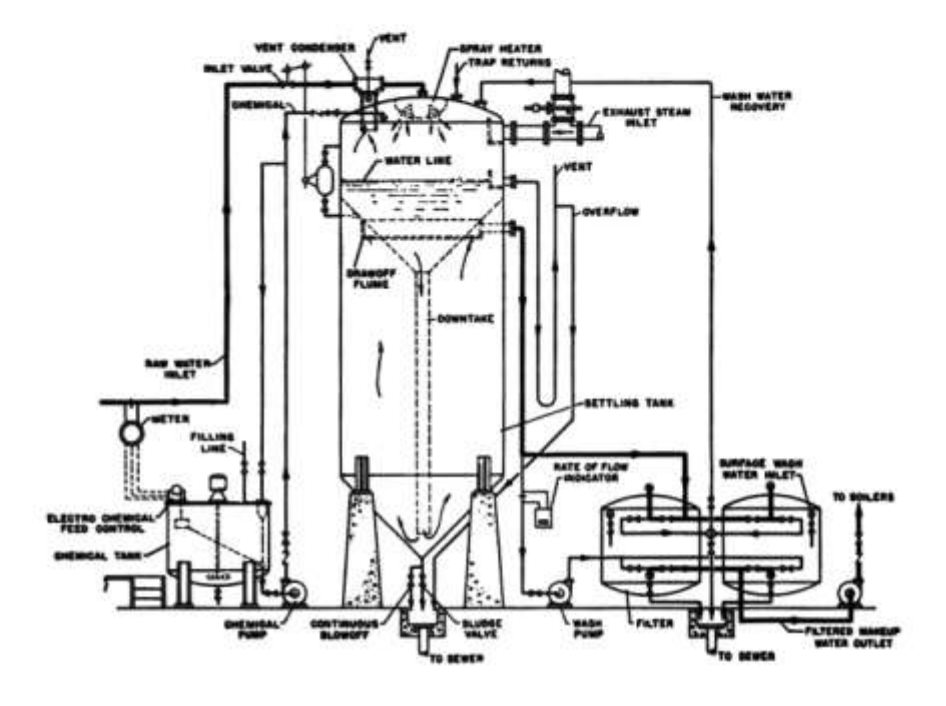
و (2) معالجته بجرعات معيّرة من المواد الكيميائية .

و (3) يروق . و (4) يرشح .

والمواد الكيميائية التي يمكن استخدامها هي : الجير المميأ $Ca(OH)_2$ ، ورماد الصودا Na_2CO_3 . وبدلاً من شراء الجير المميأ يمكن شراء الجير الحي أو كما يدعى عادة الجير الكيميائي CaO وإطفاؤه قبل استخدامه ويمكن أيضاً عند الحاجة استخدام الجير الدولوميتي المميأ (أو الجير الدولوميتي الذي يطفأ قبل الاستعمال) ، و / أو المغنسيا المنشطة .

الرواسب المنتجة هي كربونات الكلسيوم $CaCO_3$ ، وهيدروكسيد المغنيزيوم $Mg(OH)_2$ ، وتزال بالترويق والترشيح . وتصل درجة التيسير المنجزة بالمعالجة الساخنة المتصلة بالجير صودا ، مع الجرعات العادية من المواد الكيميائية المستخدمة إلى عسرة ثمالية تقل عن 25 ppm (1.5 غ / غالون) . والمعدات المستخدمة كما تظهر في الصورة 1 ـ 19 تتألف من أربعة عناصر: (1) مغذ كيميائي ، و(2) مسخّن رئيسي ، و(3) خزان ترويق ، و(4) مرشحات . إضافة إلى ذلك ، يمكن استخدام مسخن لنزع الهواء ، سواء كجزء مكمل لخزان الترويق أو كوحدة منفصلة .

الصورة 1 . 19



المغذيات الكيميائي : Chemical Feeders

<u>جهاز التغذية بالجير صودا Soda Feeder – Lime</u>

جهاز التغذية الكيميائية ، الذي يستخدم في المعالجة الساخنة بالجير صودا ، هو من نموذج التوزيع النسبي للسائل ، ويزود بمحراك آلي يدور باستمرار . عندما يستخدم الجير المميأ ، من الطبيعي أن تمزج شحنات الجير ورماد الصودا ، ثم تلقم من خزان التغذية نفسه . عندما يستخدم الجير الكيميائي CaO ، يستخدم خزان إطفاء منفصل ، مزود بمحراك آلي لإطفاء شحنة الجير ، وبعد ذلك يضاف الحجم الضروري من الماء وشحنة الصودا . يجري عادة تركيب الخزان الإضافي للإطفاء والشحن فوق خزان التغذية بحيث يمكن تعبئة خزان التغذية حتى في حال استخدام الجير المميأ .

ملاحظة : ورد في بعض الكتب أنه نظراً لتفاعل الجير المميأ ورماد الصودا لتشكيل الصودا الكاوية وكربونات الكلسيوم ، يمكن الحصول على النتائج نفسها عن طريق تغذية الماء بالصودا الكاوية وحدها ولكن هذه الفكرة سطحية ومضللة جداً لأن المادتين الكيميائيتين تمزجان بنسب مختلفة جداً لمعالجة المياه من مختلف التراكيب بحيث قد لا تكونان بالنسب الصحيحة (كما يظهر أدناه) من أجل كامل الصودا وكامل الجير لتشكيل الصودا الكاوية كما يلي :

$$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaO$$

وفيما مضى استخدمت في حالات نادرة فقط ، مزائج رماد الصودا والصودا الكاوية بدلاً من الجير ورماد الصودا . هذا الإجراء مكلف أكثر من استخدام الجير ورماد الصودا (كميات مماثلة من الصودا الكاوية تكلف أكثر من الجير بأربع إلى ثمان مرات) وتزيد أيضاً من إجمالي محتوى الجوامد المنحلة في الصبيب . فمثلاً عند إزالة بيكربونات الكلسيوم والمغنيزيوم ، تتفاعل الصودا الكاوية كما يلي :

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow CaCO_3 + Na_2CO_3 + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 4NaOH \rightarrow Mg(OH)_2 + 2Na_2CO_3 + 2H_2O$$

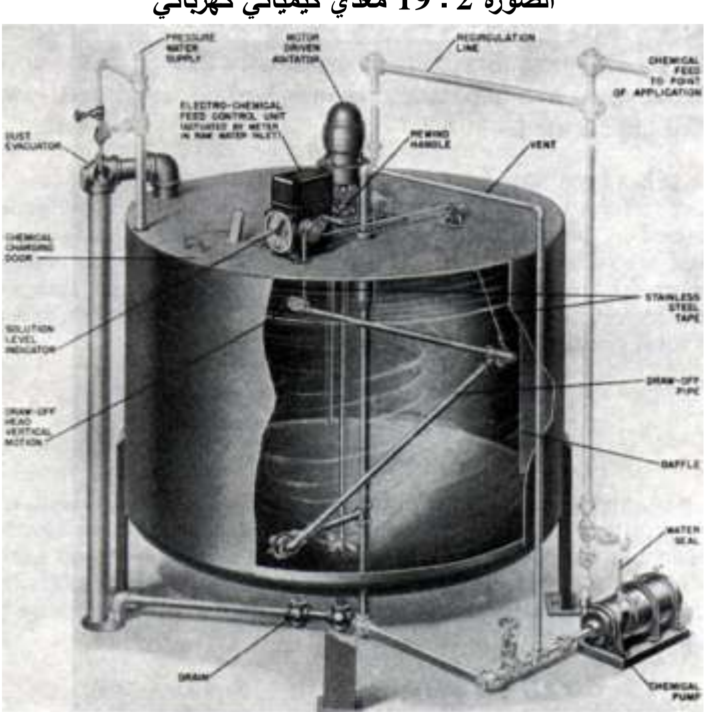
وهكذا ينبغي إنتاج مكافئين من كربونات الصوديوم الذوابة مقابل كل مكافئ من بيكربونات الكلسيوم ، ومكافئ من كربونات الصوديوم الذوابة ، ولكل مكافئ من بيكربونات المغنيزيوم ، وعند استخدام الجير بدلاً من الصودا الكاوية لا تنتج مقومات ذوابة كما يتضح في التفاعلات التالية :

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$$

تستخدم تصاميم مختلفة للمغذيات الكيميائية ، للتغذية بالجير ورماد الصودا في المعالجة الساخنة يتوجب تزود كافة هذه التصاميم بأذرع تدار آلياً لإبقاء الجير معلقاً كما يجب أن تكون المغذيات من نموذج التوزيع المتناسب للتغذية بالمواد الكيميائية ، بما يتناسب مع تقلبات متطلبات الماء في المراجل البخارية . وأحد هذه التصاميم النموذجية هو مغذٍ كهربائي كيميائي ، الصورة 2 ـ 19 ، وكنا قد أتينا على وصفه في الفصل 12 ، يربط هذا المغذي كهربائياً ، إلى عداد في خط المياه الخام ، بحيث يمكن توزيع معدل التغذية بشكل متناسب على جريان الماء الخام إلى خزان الترويق في ميسر الماء للمعالجة الساخنة . والمضخة الكيميائية ضرورية ، لأن المواد الكيميائية يجب أن تصل إلى الجزء العلوي من خزان الترويق . وتربط المضخة بشبكة السحب الكيميائية ، ومانع تسرب مائي ، وأيضاً

بأنبوب وقمع كما يظهر في الصورة 2 ـ 19 لاستقبال التصريف من خط الدوران الكيميائي . والغرض من هذا الخط ، هو تجديد الدوران باستمرار لجريان المواد الكيميائية (3 ـ 5 غ / جالون عادة) ، بحيث يمنع تشكل الرواسب في الشبكة التي تؤدي من المضخة الكيميائية إلى خزان الترويق . ويربط بأنبوبة تائية عند نقطة مرتفعة من هذه الشبكة ، ويخنق عند نقطة تقع مباشرة فوق مصرفه إلى القمع بواسطة صمام يكيف يدوياً .

الصورة 2 ـ 19 مغذي كيميائي كهربائي



يركب هذا الصمام بحيث يجعل الكمية الدائرة غير كافية للتدخل في معدل الجالونات الأعظمي من المواد الكيماوية التي تفرغ من أعلى أنبوب السحب . وخزان التغذية الكيميائية يزود عادة بدليل المستوى أو مؤشر مستوى السائل يربط إلى بكرة ثانية على وحدة جهاز قياس التغذية . وملحق آخر يتميز بأهمية في منع الغبار عند تجديد شحن خزان التغذية بالمواد الكيميائية الجافة هي مفرغة الغبار

التي تتألف من أنبوب مربوط إلى غطاء ومصرف ، ويحتوي على نافورة مائية ، مركبة بحيث تمتص الهواء الذي يحمل الغبار إلى الأنبوب ، وتجرف الغبار إلى المصرف .

ملاحظة : قلما يستخدم خزانان منفصلان للتغذية ، أحدهما للجير والآخر لرماد الصودا . ولكن مع المياه السطحية المتنوعة إلى حد كبير ، هناك بعض الفوائد لهذا الترتيب ، لأنه لو تغير تركيب الماء قبل استهلاك الشحنة فقد تتغير الأجزاء النسبية من الجير ورماد الصودا إضافة إلى الكميات اللازمة . فمثلاً إذا زادت العسرة أو نقصت في كميتها ، فسوف نحتاج فقط إلى زيادة أو نقص مماثل في جرعة المزيج نفسه من الجير ورماد الصودا . ولكن إذا لم يتبدل إجمالي العسرة فقط ، بل أيضاً كما يحدث غالباً الأجزاء النسبية من الكلسيوم والمغنيزيوم ، وكذلك عسرة الكربونات واللاكربونات ، فسوف نستفيد عندئذٍ من استخدام خزاني تغذية منفصلين .

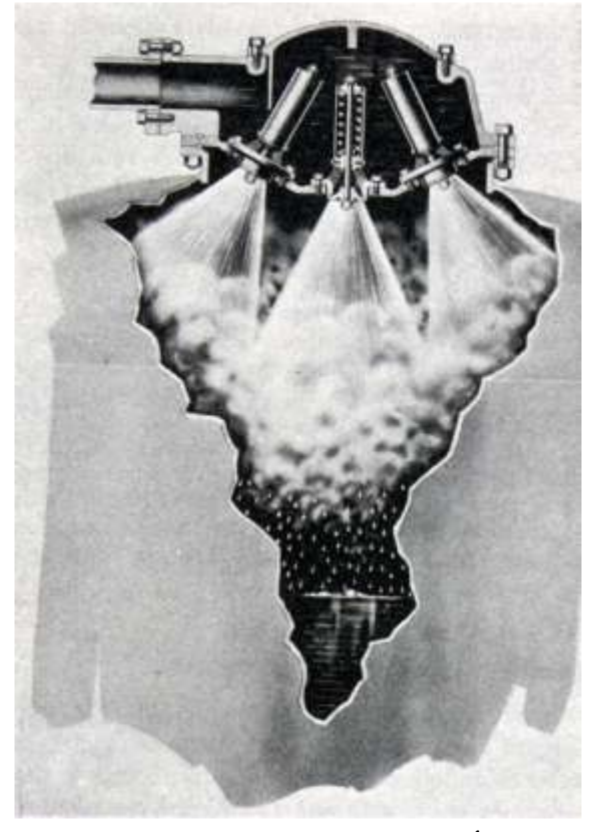
المسخن الأولي ، المكثف الهوائي ، نازع الهواء :

Primary Heater, Vent Condenser , De aerator

يركب المسخن الأولي كما ترى في الصورة 3 ـ 19 فوق خزان الترويق . ويستخدم المسخن من نموذج الرش على نطاق واسع لهذا الغرض ، لأنه خالٍ من إزعاجات التقشر ، حتى مع المياه التي تحمل محتويات عالية نسبياً من عسرة البيكربونات . والصمامات المستخدمة للرش هي من النوع النابضي المثقل بحيث تضمن رشاً فعالاً مع كل معدلات الجريان إلى الحد الأعظمي . يستخدم البخار المنفلت عادة للتسخين ، والضغط المستخدم على نطاق واسع ، يتراوح من 4 إلى 10 باوند / إنش تبنى المعدات القياسية عادة على أساس 10 باوند / إنش^2 (10 Psig) ولكن تستخدم أحياناً ضغوط أعلى لا تزيد عادة على 20 باوند / إنش^2 (20 Psig) .

يملأ البخار الجزء الأعلى من خزان الترويق فوق مستوى الماء ، وعند رش الماء عبر هذا الجو من البخار فإنه يسخن إلى 2° أو 3° ف من درجة حرارة البخار. وفي درجة الحرارة المذكورة ، يطرد ثاني أكسيد الكربون ، كما يتحرر أي هواء منحل . يمكن تحرير هذه الغازات ، والنتروجين ، والأكسجين ، وثاني أكسيد الكربون ، إلى الجو مباشرة من خلال أنبوب التهوية ، أو يفضل مرورها

الصورة 2 . 19المسخن الرذاذي الأولي



أولاً عبر مكثف هوائي قبل أنبوب التهوية . عندما يستخدم مكثف هوائي ، تمر إضافة الماء الخام البارد خلاله ، وتستعاد الوحدات الحرارية ، التي ستبدد بخلاف ذلك . يزود أنبوب التهوية بصمام خنق ، يركب بحيث يمكن تنفيس الهواء المحرر إلى الجو مع تبديد ذيل صغير فقط من البخار .

ينزع المسخن الأولي الهواء إلى أقل من 0.3مم^3 من الأكسجين المنحل في اللتر . إذا كانت مياه التغذية الباردة مشبعة بالهواء المنحل عند درجة 50ف ، يمثل هذا ، كما لاحظنا في الفصل 11 ، 96 % من الأكسجين المنحل . هذه الدرجة لنزع الهواء تكفي عادة لمنشآت المراجل ذات الضغط المنخفض التي لم تجهز بموفرات أنبوبية فولاذية أو مسخنات تدريجية . وسنكتشف في التطبيق

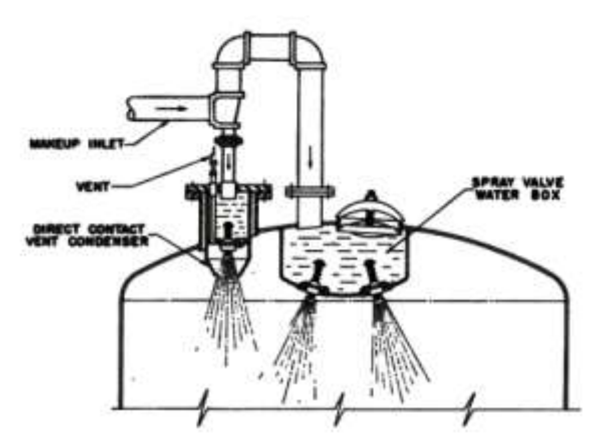
العملي ، أن المحتوى الفعلي من الأكسجين المنحل سيتراوح بين 0.1 . 0.2 مل / ل .

المسخنات النازعة للهواء : De aerating Heaters

فيما يتعلق بمراجل الضغط العالي أو المراجل المزودة بموفّرات أنبوبة من الفولاذ أو المسخنات التدريجية ، يمكن خفض محتوى الأكسجين المنحل إلى مادون الرقم المضمون 0.005 مل / ل (طريقة اختبار شفارتز . غورني المعدلة Gurney Test Method−Modified Schwartz)

باستخدام المسخن النازع للهواء إضافة إلى المسخن الأولي يبنى نزع الهواء عادة كما نرى في الصورة 5 ـ 19 ، داخل خزان الترويق ، كجزء مكمل للمعدات، لكن في بعض الحالات يكون نازع الهواء (كما ذكرنا في الفصل 11) قطعة منفصلة عن الجهاز بعد معدات التيسير . وفي كلتا الحالتين ، تكون المبادئ الرئيسية للتشغيل هي ذاتها عادة .

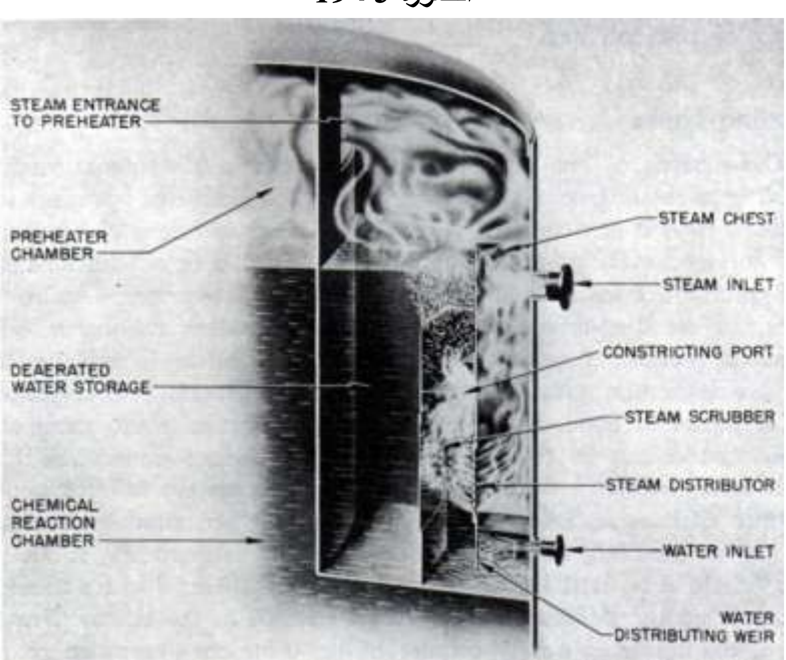

الصورة 4 . 19



يدفع أولاً الحجم الكبير من البخار اللازم للمسخن الأولي عبر نازع الهواء من الماء الميسر الساخن ، وبعد ذلك يعبر إلى المسخن الأولي . يكون الماء الميسر الساخن الذي يدخل إلى نازع الهواء ، ضمن بضع درجات فهرنهايت من حرارة البخار .

ولذلك يكون المتكثف في نازع الهواء قليل جداً . وبدلاً من ذلك ، يعمل كامل البخار عملياً على غسل الماء في نازع الهواء ، وبما أن محتوى الأكسجين المنحل ، هو 0.1 . 0.3 مل / ل فقط عندما يدخل المسخن ، يهمل الضغط الجزئي لهذا المقدار الضئيل من الأكسجين في هذا الحجم الضخم من البخار، وتكون إزالته كاملة إلى حد يكون فيه مأموناً دون الرقم 0.005 مل / ل .

الصورة 5 . 19



خزانات الترويق : Settling Tanks

مختلف تصاميم خزانات الترويق في ميسرات الماء بالجير صودا على الساخن ، وفقاً لدرجة نزع الهواء المطلوبة ، وما إذا كان ناتج التكثيف يجب أن يسخن أو ينزع هواؤه والأجزاء النسبية من ناتج التكثيف أو الإضافة الميسرة التي يجب معالجتها ، وما إذا كان يجب إزالة السيليكا أم لا . فمثلاً ، إذا كانت حجرة المراجل تحتوي على مراجل الضغط المنخفض ، ولا تستخدم موفرات أنبوبية أو

مسخنات تدريجية ، فإن درجة نزع الهواء المتحصلة بمسخنات الرش الأولية تكون كافيةً ، ولا حاجة عادة لنزع إضافي للهواء بنازع هواء متكامل .

وبالمقابل تحتاج المراجل العالية الضغط أو حجرات المراجل التي تستخدم موفرات أنبوبية من الفولاذ أو مسخنات تدريجية ، إلى نزع كامل الهواء من مياه التغذية بحيث نحتاج إلى نازع هواء ، ويبنى عادة خزان الترويق كجزء متمم له وكذلك عندما تتوجب معالجة عائدات ناتج التكثيف إلى حجرة منفصلة ، بحيث يمكن استخدام كامل عائدات ناتج التكثيف ، وتغذى المراجل بالكمية الضرورية من الماء الميسر لتعويض النقص في ناتج التكثيف علاوة على ذلك قد يحتاج ناتج التكثيف إلى نزع كامل الهواء أو إلى درجة نزع الهواء التي تتيحها مسخنات الرش المنفصلة .

صهريج الترويق الذي يحدث فيه التيسير والترويق ، هو اسطوانة عمودية شاهقة من الفولاذ ذات رأس مقعر من الأعلى وقاع مخروطي معكوس ، تحمله أربع قوائم ، ويؤمن جرياناً مناسباً بالثقالة للماء الميسر والمرشح إلى مضخة الخدمة . يبنى حجم خزان الترشيح على أساس سعة مكافئة لما يقارب فترة توقيف أمدها ساعة في معدل الجريان الأقصى ، ويبطن عادة بمادة عازلة لخفض خسارة الوحدات الحرارية وتقوم القدرات على أساس إجمالي حجم الصبيب الحار (الماء المعالج والبخار المكثف فيه أثناء التسخين) ، ويحدد عادة بالجالون بالساعة . يزن جالون واحد من الماء بدرجة 212 ف 8 ليبرة تقريباً .

يسخن الماء في أعلى خزان الترويق عن طريق رشه عبر جو من بخار عالي الضغط . ولتفاد حدوث الفراغ ، في حال انقطاع البخار ، تؤمن أجهزة لتعطيل الفراغ . تضاف المواد الكيميائية إلى الماء المسخن في الجزء العلوي من خزان الترويق حيث تتفاعل بسرعة مع مقومات العسرة فتشكل لبادة كبيرة تستقر بسهولة .

في نموذج الدثار العكر الأحدث ، والذي يستخدم على نطاق واسع ، لخزان الترويق ، كما يبدو في الصورة 6 . 19 ، يجري الماء المعالج نزولاً عبر ماسورة نازلة ، تمتد إلى قرب قاع الخزان . وهنا ينعكس مجراه ، فيرتفع ويرشح صعوداً عبر ثخانة منظمة من دثار العكارة . وعند خروجه من سطح الدثار يرتفع الصبيب النقي نسبياً إلى المخرج ومن هناك يجري ، إذا كنا لا نريد إجراء نزع إضافي للهواء مباشرة إلى المرشحات أما إذا كنا تريد هوائه نزع هوائه إلى أقل من 0.005 ppm من الأكسجين المنحل ، عندئذٍ نتركه يجري عبر نازع هواء متكامل أو وحدة منفصلة لنزع الهواء قبل عبوره إلى المرشحات

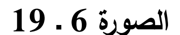
في النماذج الأقدم لخزانات الترويق ، تستخدم مهواة صاعدة ، أسطوانية أو مخروطية ، بدلاً من الماسورة النازلة . تركب هذه المهواة في الوسط ، وقاعها أعلى قليلاً من قاع الجانب القائم للغلاف . يجري الماء المعالج نزولاً بين جوانب الخزان والمهواة الصاعدة . وعند وصوله إلى قاع المهواة ينعكس جريانه ويرتفع عبرها إلى المخرج ، بينما تستقر العكارة في قاع خزان الترويق .

تزود كافة خزانات الترويق بخطوط لدخول الماء وخروج الصبيب ، ومدخل للبخار ومنفس منظم بصمام ، مع أو بدون مكثف هوائي ، وعدادات لضبط مستويات الماء وموانع لتسرب الماء ، وترمومتر من النموذج الذي يدل ، أو يدل ويسجل ، ووسائل يدوية أو آلية لإزالة العكارة .

المرشحات : Filters

المرشحات المستخدمة في المعالجة الساخنة بالجير صودا ، هي مرشحات ضغطية من الفولاذ ، وقد تكون من النموذج العمودي أو الأفقي . ووسط الترشيح الأكثر استخداماً في المعالجات الساخنة بالجير صودا هو الأنثراسيت المتدرج ، وإذا استخدم الرمل والحصى ، فقد ينحل قليلاً في الماء الحار القلوي الميسر ،

وبالتالي يزداد محتواه من السيليكا وهناك أوساط ترشيح أخرى استخدمت على نطاق محدود ، هي الكليست والمغنيتيت .



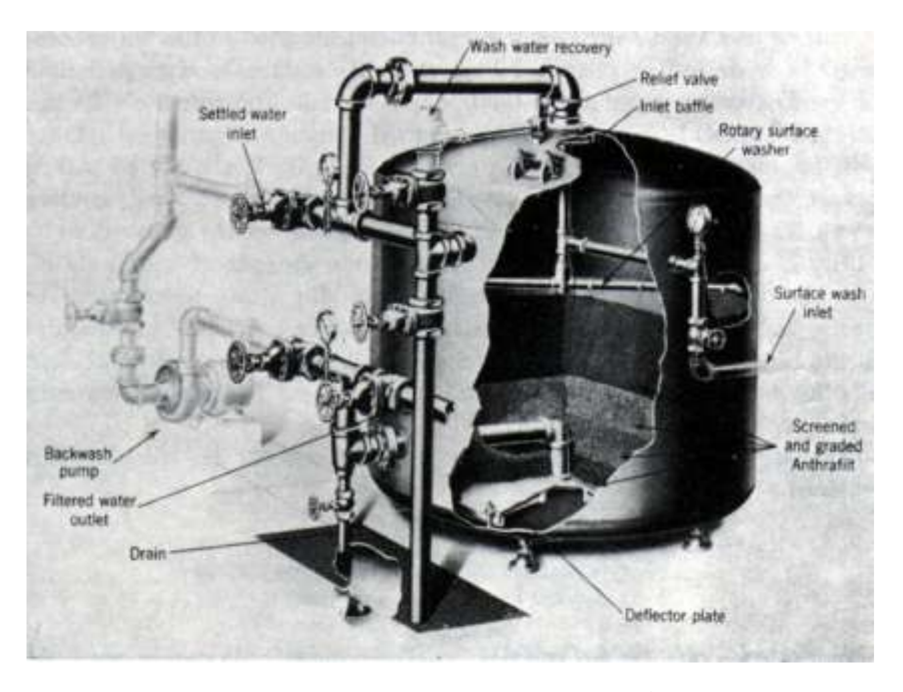
الصورة 6 . 19

تستخدم هذه المرشحات في مجموعات تتألف من وحدتين أو أكثر ، مرتبة بحيث تعالج وحدة أو وحدات كامل الحمل ، عندما تغسل وحدة أو وحدات أخرى رجوعياً . ينصح بالغسل الراجع عادة عند تتجاوز خسارة الضغط بين المدخل

والمخرج في وحدة الترشيح 3 باونداً / إنش^2 ، وينجز الغسل بماء مروَّق من خزان الترويق بواسطة مضخة خاصة بالغسل الراجع ، كما نرى في الصورة 7ـ 19 التي تبين وحدة من مجموعة . ماء الغسل الراجع لا يهدر ، بل يعود إلى الجزء العلوي من خزان الترويق عبر خط استرداد ماء الغسل . هناك فوائد كثيرة لطريقة استرداد الغسل الراجع في تنظيف مرشحات المعالجة الساخنة ، لأنه لو استخدم الماء الخام البارد ، فسوف تتشكل الرواسب في سرير الترشيح ، فتسبب الانسداد ، والسمنتة ، والفلطحة . وستتبدد أيضاً وحدات حرارية قيّمة ومياه معالجة ، وخصوصاً إذا أنجز الغسل الراجع بماء ميسر ساخن كان يهدر لا تحتاج فترة الغسل لأكثر من 8 دقائق .

كانت شبكات البخار تركب سابقاً فوق شبكة الغسل الراجع في قاع المرشحات، وكان البخار يدفع عبر سرير الترشيح ، أثناء الغسل الراجع للمساعدة في إزالة التراكمات . واليوم يمكن استخدام الغسالات السطحية من النموذج الدوراني (وصفت في الفصل 13) لهذا الغرض . تبطن بشكل ثابت تقريباً مرشحات وشبكة المعالجة الساخنة لتفادي خسارة غير ضرورية في الوحدات الحرارية وفيما عدا التبطين ، واسترداد الغسل الراجع ، و واقع أن أوساط الترشيح المستخدمة ليست من الرمل والحصى ، فإن المرشحات المستخدمة في المعالجة الساخنة هي نفسها كالمرشحات الضغطية ، التي وصفناها في الفصل 13 . تركب مضخة الغسل ومضخة الخدمة عادة عند مستوى الأرض لإعطاء العلّو الإيجابي اللازم ومنع الوميض على جوانب الامتصاص في المضخة . يحدد مسبقاً الارتفاع اللازم لمستوى الماء في خزان الترويق من عدد أقدام العلّو على جانب الامتصاص في مضخة الخدمة الذي يحدده المصنعون ، إضافة إلى 13ـ 15 قدماً من العلّو ، لوضع خسارات الاحتكاك عبر المرشح والشبكة في الاعتبار .

الصورة 7 . 19



الجرعات الكيميائية : Chemical Dosages

<u>الجير ورماد الصودا Lime and Soda</u>

المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الساخنة هي :

(1) الجير المميأ أو الكيميائي ، و(2) رماد الصودا .

يحتوي الجير المميأ من النوعية الجيدة والتجارية العادية ، على ما يقرب من 93 % من $Ca\ (OH)_2$ ويحتوي الجير الكيميائي من النوعية الجيدة والتجارية على 90 % من CaO ، وينبغي إطفاؤه قبل الاستخدام . ويحتوي رماد الصودا من النوعية الجيدة والتجارية العادية ، على 99 % من Na_2CO_3 وتعتبر نسبة 98 % عادة بوصفها نقاوة له في إجراء الحسابات . في التطبيق العملي تحسب جرعات المواد الكيميائية اللازمة عادة من افتراضات النقاوة أعلاه ، وتجري التعديلات في الجرعات وفقاً لقياسات قلوية برتقالي المثيل وقلوية الفينول فثالين

في الصبيب المرشح من ميسر المعالجة الساخنة . تحسب الجرعات التقريبية من المواد الكيميائية التجارية كما يلي :

حيث : A = القلوية كـ $ppm\ CaCO_3$.

Mg = عسرة المغنيزيوم كـ $ppm\ CaCO_3$

H = إجمالي العسرة كـ $ppm\ CaCO_3$.

الجير المميأ ($Ca(OH)_2$ 93 %) , عدد الباوندات في 1000 جالوناً من الماء المعالج = $\frac{A+Mg}{151}$

أما إذا استخدم الجير الكيميائي (CaO 90 %) ، فعدد الباوندات في 1000 جالوناً من الماء المعالج = $\frac{A+Mg}{193}$.

رماد الصودا (Na_2CO_3 98 %) : عدد الباوندات في 1000جالوناً من الماء المعالج = $\frac{H-A}{111}$ + الزيادة اللازمة (0.25 ليبرة عادة) . انظر الصورة 8 . 19 بخصوص تأثير زيادة رماد الصودا في خفض العسرة .

إذا كان لا يتوجب إجراء معالجة إضافية للماء بالفوسفات ، كما نصف فيما بعد تحت عنوان (المعالجة الساخنة بالجير فوسفات الصودا) تجرى تعديلات الجرعات الكيميائية بحيث يكون مدى قلوية برتقالي المثيل في الصبيب المرشح من 20 - 30 ppm ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$ ، ويجب أن تتراوح القلوية الكاوية من 0 - 10 ppm ، معبراً عنها كـ $CaCO_3$. إذا كانت قلوية برتقالي المثيل أقل من 20 ppm ، يجب زيادة جرعة رماد الصودا وإذا كانت أكثر من 30 ppm يجب إنقاصها إذا كان يعرف بـ (القلوية الكاوية السلبية) أو (الكاوية القلوية السلبية) أقل من 10 ppm يجب زيادة جرعة الجير ، وإذا كانت فوق الصفر فيجب إنقاصها .

ملاحظة : ربما تكون عبارة (الكاوية القلوية السلبية) أو (القلوية الكاوية السلبية) خاصة بصناعة تيسير الماء . وتقوم على أساس المعادلة التالية التي تعطي نتيجة سلبية :

(2 × قلوية الفينول فثالين) . قلوية برتقالي المثيل = الكاوية القلوية .

فمثلاً إذا كان محتوى الصبيب 30 من قلوية برتقالي المثيل ، و 18 من قلوية الفينول فثالين تكون الكاوية القلوية 6 ppm أو كمية إيجابية كـ :

(2 × 18 ppm) . 30 ppm = كاوية قلوية 6 ppm

ولكن إذا احتوى الصبيب على 30 من قلوية برتقالي المثيل و13 من قلوية الفينول فثالين ، فيجب أن يقال بأن محتواه من الكاوية القلوية السلبية هو 4 ppm ، وفقاً لما يلي :

2 × 13 ppm . 30 ppm = كاوية قلوية 4 ppm

الصورة 8 . 19

المعالجة بالجير والجبس : Lime and Gypsum Treatment

إذا احتوى الماء الخام على بيكربونات الصوديوم كما هي الحال مع الجزء الصغير نسبياً من المياه الطبيعية ، ينجز حساب جرعة الجير بالطريقة نفسها ، لكن من الواضح أن A - H سيكون رقماً سلبياً مما يشير إلى أننا لم نكن بحاجة للصودا ، إلا بزيادة 0.25 ليبرة / 1000 جالوناً . وفي هذه الحالات يشير A-H إلى عدد الأجزاء بالمليون من بيكربونات الصوديوم (معبراً عنها كـ $CaCO_3$) الموجودة . وللحصول عليها على شكل باوندات من Na_2CO_3 الموجودة بعد المعالجة بالجير ، يمكن استعمال المعادلة التالية :

$$\frac{A-H}{113} = \text{ليبرة من } Na_2CO_3 \ / \ 1000 \text{ جالوناً}$$

إذا كان رقم Na_2CO_3 هذا أقل من 0.25 ليبرة / جالوناً ، يمكن تعويض النقص عن طريق إضافة أي جزء من الباوندات في 1000 جالوناً من رماد الصودا ، التي تلزم لإعداد الزيادة المناسبة . وإذا زادت النتيجة المتحصلة أكبر بكثير من 0.25 ليبرة / 1000 جالون ، يمكن خفضها إلى الكمية الصحيحة بإضافة الكمية الضرورية من الجبس ($CaSO_4 . 2H_2O$) والتفاعل كما يلي :

$$Na_2CO_3 + CaSO_4{\cdot}2H_2O \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

وبما أن 1 ليبرة من Na_2CO_3 تحتاج إلى 1.62 ليبرة من الجبس ، يكون التصحيح المطلوب مثلاً بماء يعطي عند معالجته بالجير 0.45 ليبرة من Na_2CO_3 كما يلي لكل 1000 جالون :

$(0.25 . 0.45) \times 1.62 = 0.32$ ليبرة من $CaSO_4\ 2H_2O$

يتضمن الجدول 1 ـ 19 التفاعلات التي تحدث مع الجير المميأ ورماد الصودا في المعالجة الساخنة بالجير صودا ، وكذلك التفاعلات النموذجية للفوسفات وحمض الفسفور مع الكربونات . كتبت تفاعلات الفوسفات بدون أن تتضمن ماء التبلور . وبخصوص تركيب مختلف الفوسفات .

انظر الملاحظة تحت الجدول 4 – 8 في الفصل 8 .

الجير الدولوميتي والمغنسيا Dolomitic Lime Or Magnesia

من أجل حسابات جرعات الجير الدولوميتي والمغنسيا لإزالة السيليكا ، انظر ما ورد تحت عنوان (إزالة السيليكا بالمعالجة الساخنة بالجير . صودا . مغنسيا) فيما بعد في هذا الفصل .

ميسرات مياه المعالجة الساخنة: نماذج وتصاميم

Hot Process Water Softeners: Types and Designs

يمكن أساساً تقسيم ميسرات مياه المعالجة الساخنة إلى نموذجين رئيسين :

(1) نموذج الدثار العكر (2) النموذج التقليدي

ويوجد كلا هذين النموذجين في عدد من التصاميم ، اعتماداً على درجة التهوية المطلوبة ، وما إذا كان ناتج التكثيف سيعالج مع الإضافة المعوضة (وإذا كان الأمر كذلك ، ما هي نسبة ناتج التكثيف) ، وماذا كانت المعالجة بالفوسفات ضرورية ، وما إذا كانت إزالة السيليكا مهمة .

صمم نموذج الدثار العكر بدئياً لإزالة السيليكا لأن الترشيح الصاعد عبر الدثار العكر يستخدم خصائص المغنسيا في إزالة السيليكا بصورة فعالة أكثر من النموذج التقليدي . وكذلك يستخدم الجير كنموذج الدثار العكر لميسر الماء بالجير البارد . صودا ، على نحو فعال أكثر ، ويؤمن صبيباً أكثر نقاوة .

ويمكن تصنيف مختلف أشكال التصاميم التي توجد فيها كل هذه النماذج كـ :

(1) للمعاوضة 100 % ، وإنقاص الأكسجين المنحل إلى أقل من 0.3 مل / ل .

(2) للمعاوضة 100 % ، ونزع كامل الهواء (أقل من 0.005 مل / ل) .

(3) للمعاوضة والتكثيف وإنقاص الأكسجين المنحل في كل منهما إلى أقل من 0.3 مل / ل .

(4) للمعاوضة والتكثيف يكونان أساساً أقل من 70 % من مياه التغذية مع نزع كامل الهواء من كليهما .

(5) مشابه لـ 4 ، باستثناء أن مقومات ناتج التكثيف أكثر من 70 % من تغذية المراجل .

وبما أن عمليات التيسير هي نفسها في الجميع فسوف نفضلها فقط في المجموعة الأولى ، وتصميم الدثار العكر الواسع الانتشار ، أما المجموعات الأخرى فسنصفها بشكل موجز :

المجموعة (1) :

يستخدم هذا التصميم (الصورتان 1 ـ 19 و 6 . 19) من ميسر الماء بالجير البارد وصودا ، على نطاق واسع ، لتيسير مياه التغذية للمراجل ذات

الضغط المنخفض ، والتي تعمل بدون الموفرات الأنبوبة الفولاذية أو المسخنات التدريجية . وكما نرى في هذه الصور التوضيحية ، يتألف خزان الترويق من اسطوانة فولاذية شاهقة ، ذات رأس مقعر من الأعلى وقاع مخروطي . الرأس العلوي المقعر لخزان الترويق مزود بخط لدخول المياه الخام ، ومكثف هوائي ، وخط لدخول المواد الكيميائية ، وصمام لتعطيل الفراغ وخط لاستعادة مياه الغسل .أحد جوانب الخزان مزود بمدخل للبخار ، وقفص لضبط مستوى الماء بعوامة (يربط بصمام لضبط مستوى الماء في خط خروج دخول المياه الخام) ، وخط الطفح منبب لتشكيل مانع تسرب حلقي ، وخط خروج إلى المرشحات ، وتركيبة مربوطة إلى ترمومتر التسجيل .

وفي قاع خزان الترويق صمام لإزالة العكارة وزناد لاعتيان العكارة . وفي خزان الترسيب يتوضع أنبوب للتصريف السفلي قمعي الشكل ، بحيث يشكل جزؤه الأعلى قاع حجرة في الجزء العلوي من الخزان ، ويمتد أنبوب تصريفه السفلي إلى قاع الخزان تقريباً .

وبالرجوع إلى الصورتين 1 ـ 19 و 6 . 19 ، نجد أن الماء يعبر أولاً من خلال العداد المزود برأس تماس كهربائي يتصل كهربائياً بمنظم التغذية الكهربائية الكيميائية وبرفع العداد ، يعبر صعوداً خلال خط الماء الخام وخلال الصمام ذي العوامة ، الذي يعمل بعوامة في قفص العوامة . وعندما يهبط مستوى الماء في الخزان ينفتح الصمام ذي العوامة تدريجياً ، وعندما يرتفع مستوى الماء ، ينغلق هذا الصمام تدريجياً ، وبهذا يحافظ على مستوى الماء في خزان الترويق ضمن حدود ضيقة تقريباً . يعبر الماء الخام من الصمام ذي العوامة ، يعبر الماء إلى المكثف الهوائي . وهناك مجرى جانبي للمعاينة ، أو لتنظيف المكثف . يوفر المكثف معظم الوحدات الحرارية في البخار ، التي لولاه لتبددت أثناء تنفيس الغازات إلى الجو . وعند تشغيل المكثف ، نحتاج إلى ذيل خفيف فقط من البخار

لتنفيس الغازات ، النتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون إلى الجو . وطريقة تنظيم هذا ، تكون بقياس درجات الحرارة الواردة والصادرة للماء الذي يجري عبر المكثف الهوائي ، وتعديل صمام التنفيس بحيث يكون الفرق في درجات الحرارة 6° . 10° ف تقريباً تكفي درجة نزع الهواء لخفض الأكسجين المنحل إلى أقل من 0 .3 مل^3 / ل .

وبمغادرته المكثف الهوائي ، يدخل الماء الخام مسخن الرشّ ، ويرش نزولاً عبر الحيز البخاري إلى سطح الماء في خزان الترويق يستخدم الغاز المنفلت عادة للتسخين ، وهذا البخار الذي يدخل من الفتحة المخصصة له ، يجب أن يكفي لتسخين الماء إلى حوالي 3° ف من درجة حرارة البخار ، وينفس البخار المتحرر عبر المكثف الهوائي وإذا لم يكن البخار المنفلت كافياً ، ينبغي تعويض النقص من البخار الحي بواسطة صمام خافض للضغط . تدخل جرعات المواد الكيميائية الموزعة بالتناسب إلى خزان الترويق من خلال خط الدخول المخصص لها ، وتسقط إلى الماء الخام المسخن والمنزوع الهواء في أعلى خزان الترويق . فتمتزج به بسرعة وتتفاعل المواد الكيميائية بسرعة أيضاً مع مقومات العسرة ، التي تترسب على شكل كربونات كلسيوم وهيدروكسيد مغنيزيوم ، وبالتالي يتيسر الماء ، ويترسب كما نرى في التفاعلات الجير المضاف إضافة إلى الجير الموجود في الماء الخام .

بعدئذٍ يجري الماء الحار الميسر مع رسابته نزولاً عبر أنبوب التصريف السفلي القمعي الشكل إلى مستوى قريب من قاع خزان الترويق ، حيث يخرج من أسفل أنبوب التصريف والمرشحات صعوداً عبر الدثار المعلق ، المتشكل سابقاً من الرواسب تتم المحافظة على ارتفاع الدثار العكر ضمن حدود معينة بواسطة صمامات تصريف سلفية تشغل يدوياً أو آلياً . وعند خروجه من أعلى الدثار العكر ، يعبر الماء إلى شبكة التجميع ، ومنها إلى المرشحات . على الرغم من الحصول

على درجة ممتازة من الترويق ، إلا أن الرسابة لا تزول بالكامل . ومن هنا يكون الترشيح ضرورياً عادة . تستخدم المرشحات من النموذج الضغطي وتملأ عادة بالأنثرافليت المتدرج ، بدلاً من الرمل والحصى ، وتجهز بشكل ثابت تقريباً في مجموعات مؤلفة من وحدتين أو أكثر ، مرتبة بحيث عند ما تغسل وحدة منها رجوعياً ، تقوم الوحدة أو الوحدات الأخرى بعبء كامل الحمل . بعد مغادرته المرشحات ، يجري الصبيب الميسر إلى مضخة تغذية المراجل ، فتوصله هذه إلى المراجل .

ينجز غسل المرشحات رجوعياً بواسطة مضخة الغسل ، التي تسحب الماء المستقر من الميسر ، وتفرغه رجوعياً إلى أعلاه بواسطة خط استعادة ماء الغسل كما نرى في الصورة 1 ـ 19 . يستغرق الغسل الراجع عادة من 6 . 8 دقائق وخلال هذه الفترة يكون السحب أشد من الطبيعي على خزان الترويق ، ولكن بما أن الفترة قصيرة فإن العكارة تكون غير كافية لإحداث أية مصاعب . وبما أن مياه الغسل الراجع تستعاد عن طريق إعادة الترويق في خزان الترويق ، تساعد هذه الطريقة على تفادي خسارة الماء الميسر .

<u>المجموعة (2) :</u>

هذا التصميم شبيه بالنموذج (1) ، باستثناء أن نازع الهواء وحجرة تخزين المياه المنزوعة الهواء أضيفت في الجزء العلوي من خزان ، الترويق يجري التسخين والتيسير هنا بالطريقة نفسها في المجموعة (1) ، وعندئذٍ يدخل الماء الميسر من المهواة الصاعدة إلى نازع الهواء ، حيث يغسل تماماً مع كامل البخار اللازم للمسخنة الأولية ، وبالتالي ينقص محتوى الأكسجين المنحل من 0.1 . 0.3 مل / ل إلى أقل من 0.005 مل / ل . يجري الماء من نازع الهواء إلى حجرة تخزين الماء المنزوع الهواء ومن هناك عبر المرشحات إلى تغذية المراجل .

<u>المجموعات (3) و(4) و(5) :</u>

عندما تتوجب معالجة عائدات التكثيف بواسطة ميسر ، يستخدم أولاً ناتج التكثيف والإضافة فقط لتعويض النقص في حجم ناتج التكثيف . وينجز هذا عادة عن طريق إحداث نقص في الضغط في الإضافة ، بحيث يوجد ناتج التكثيف بضغط أعلى من ضغط الإعاضة . يمكن الحصول على نقص الضغط بجعل ناتج التكثيف يمر جانبياً إلى المرشحات بينما تجري الإعاضة عبر المرشحات .

هناك سبب آخر لترشيح مياه الإعاضة قبل مزجها بناتج التكثيف ، هو أن ماء الإعاضة غير المرشح يحتوي على كربونات الكلسيوم وهيدروكسيد المغنيزيوم المعلقين . ورغم أن ذوبانية هذه المواد قليلة ، إذا أضيفت مياه الإعاضة غير المرشحة إلى ناتج التكثيف ، فإن جزء الرواسب سينحل بواسطة ناتج التكثيف ، وبالتالي تزداد عسرة الإعاضة وناتج التكثيف الممزوجين .

<u>المجموعة (3) :</u>

في هذا التصميم تسخن عائدات ناتج التكثيف في مسخن رش مستقل ، فينقص محتوى الأكسجين المنحل إلى أقل من 0.3 مل / ل ، ويجمع الماء في حجرة تخزين منفصلة . يجري التسخين والتيسير هنا كما في المجموعة (1) . وبما أن ناتج التكثيف يجري مباشرة إلى مضخة المراجل ، حيث يعبر ماء الإعاضة المرشحات ثم إلى المضخة ، فإن مياه الإعاضة تسحب فقط بكمية لتعويض عجز ناتج التكثيف .

<u>المجموعة (4) :</u>

نستخدم في هذا التصميم مسخنا رش ونازعا هواء ، يستخدم مسخن نازع هواء لمياه الإعاضة ، ويستخدم الآخران لناتج التكثيف يستخدم هذا الطراز حيث يتوجب إزالة كامل الهواء من ناتج التكثيف ومن مياه الإعاضة ، وحيث يمثل ناتج التكثيف أقل من 70 % من مياه تغذية المراجل . يفصل مخزن ناتج التكثيف المنزوع الهواء عن مخزن الإعاضة المنزوعة الهواء بصفيحة تقسيم عمودية . يجب

أن يجري الماء الخارج من ماء الإعاضة المنزوعة الهواء عبر المرشحات وعكس مقاومتها . ولذلك يكون التأثير الصافي ، هو أن ناتج التكثيف المنزوع الهواء يصل إلى امتصاص مضخة الخدمة بضغط أعلى من ضغط ماء الإعاضة المنزوع الهواء، وبالتالي ضمان أن ناتج التكثيف سيستخدم أولاً ، ويستخدم ماء الإعاضة المنزوع الهواء فقط حسب الحاجة لتعويض العجز في كمية ناتج التكثيف المقاصة .

المجموعة (5) :

إنه تصميم آخر يستخدم لنزع الهواء من ناتج التكثيف وماء الإعاضة بشكل كامل إنما حيث يمثل ناتج التكثيف أكثر من 70 % من احتياجات تغذية المراجل . يستخدم مسخنا رش أحدهما لناتج التكثيف والآخر لمياه الإعاضة ، ويمزج الماء الميسر والمرشح مع ناتج التكثيف ، وينزع الهواء في نازع هواء متكامل . وينجز هذا الإجراء بترك ناتج التكثيف يجري مباشرة إلى نازع الهواء بعد مروره عبر مسخن ناتج التكثيف بالرش ، وتسقط مياه الإعاضة ، بعد عبورها مسخن الرش الخاص بها ، إلى خزان الترويق حيث يتم تيسيره وبعدئذٍ يرتفع عبر اسطوانة مهواة صاعدة ، ويعبر المرشحات ، ويجري إلى نازع الهواء ،حسب الحاجة . ونظراً لوجود نقص في الضغط أثناء العبور من خلال المرشحات ، يزود ناتج التكثيف إلى حجرة نزع الهواء بضغط أعلى من ضغط ماء الإعاضة الميسر والمرشح . وبالتالي يستخدم ناتج التكثيف أولاً وتستخدم الإعاضة فقط لتعويض العجز في إجمالي مياه تغذية المراجل .

إزالة السيليكا بالمعالجة الساخنة . صودا . مغنسيا

Silica Removal by Hot Lime - Soda - Magnesia Process

نموذج الدثار العكر هو الميسر الأكثر فعالية في إزالة السيليكا بالمعالجة الساخنة بالجير– صودا– مغنسيا ويظهر هذا التصميم في الصورتين 1 – 19 و 6 – 19

ملاحظة :

في النموذج التقليدي من ميسر الماء بالجير الساخن . صودا ، تنفصل بسرعة العكارة المتشكلة من الرواسب عن الماء ، وتتجمع في قاع الميسر ، ومن هناك تدفع دورياً أو بصورة متواصلة إلى الهدر . عندما يغذى الميسر من النموذج التقليدي بالجير الدولوميتي أو المغنسيا ، يترسب محتوى المغنسيا بسرعة ، لأنها غير ذوابة عملياً ، إضافة إلى العكارة ، ولذلك لا تتيح التلامس المتعادل والوثيق الذي هو ضروري من أجل إزالة فعالة للسيلكا . ولهذا الغرض ، يجب القيام بتركيب شبكة مساعدة في أعلى الميسر لإعادة تدوير العكارة لكي تضخ العكارة من قاع الميسر وتطرحه ، ولذلك عندما يستخدم الميسر من النموذج التقليدي لإزالة السيليكا .

يتبين من الصورة 6 . 19 ، أن الماء الخام الداخل ، في نموذج الدثار العكر لميسر الماء بالجير الساخن . صودا ، يسخن برشه عبر جو من البخار في الحجرة عند أعلى الميسر . يتم إدخال المواد الكيميائية إضافة إلى أية جرعة من الجير الدولوميتي أو المغنسيا ، بواسطة خط إدخال هذه ، المواد وتتساقط على سطح الماء في الميسر ، حيث تضمن الظروف المضطربة سرعة المزج . يشبه الجزء الأسفل من هذه الحجرة وأنبوب التصريف السفلي قمعاً مسوِّقاً ، حيث يمثل القمعَ قاعُ الحجرة المخروطي ، ويمثل الساق أنبوبُ التصريف النازل الذي يمتد منه إلى القاعدة المخروطية للميسر .

في درجات الحرارة التي يتم الوصول إليها (عادة أكثر بقليل من ˚212 ف ، اعتماداً على ضغط البخار المستخدم) ، تحدث تفاعلات التيسير بسرعة كبيرة عملياً بصورة لحظية ، ويجري الماء الميسر والرواسب و المغنسيا المضافة نزولاً عبر الماسورة النازلة وفي أسفل هذه الماسورة ، ينعكس الجريان ويعبر الماء صعوداً من خلال الدثار المعلق للعكر المتشكلة سابقاً . يمكن المحافظة على الثخانة المرغوبة لهذا الدثار ، تتراوح من أقدام قليلة إلى عشرة أقدام ، عن طريق

تنظيم تصريف العكارة . واكتشف بالتطبيق العملي ، أن هناك القليل مما يمكن كسبه عن طريق ثخانة تزيد عن حوالي 6 أو 8 قدماً . ولتنظيم ثخانة دثار العكارة ، تركب حنفيات اعتيان بحيث يمكن سحب العينات عند مختلف ارتفاعات خزان الترويق . تشير هذه العينات إلى ارتفاع وكثافة الدثار العكر وتعمل كدلائل في تنظيم كمية التصريف من مركّز العكارة ، الضرورية للمحافظة على سطح الدثار ضمن حدود مقررة مسبقاً .

عندما يرتفع الماء المعالج عبر الدثار العكر ، يصبح على تماس وثيق جداً مع هيدروكسيد المغنيزيوم في الدثار مما يؤدي إلى إزالة فعالة جداً للسيلكا . إضافة إلى ذلك يمارس دثار العكارة تأثيراً ترشيحياً بحيث كثيراً ما يكون محتوى العكارة في الصبيب من خزان ترويق ميسر المعالجة الحارة بالدثار العكر ، أقل من 1 ppm أو 2 ppm وقلما يتجاوز 10 ppm . وكما هي الحال مع نموذج الدثار العكر لميسر الماء بالجير الساخن صودا ، يكون مستوى الحد بين أعلى دثار العكارة في ميسر المعالجة الساخنة بهذا الدثار وبين الماء فوقه واضحاً جداً يرتفع الماء من سطح دثار العكارة إلى مجمع حلقي ومنه يجري إلى المرشحات.

وصفت إزالة السيليكا بواسطة المغنسيا بأنها ظاهرة امتزاز ، لكنها يحتمل أكثر أن تكون تفاعلاً كيميائياً محدوداً ، مع إنتاج سيليكات المغنسيا . وعلى أية حال من المعروف أنه يمكن إزالة السيليكا بواسطة المغنسيا ، و أن أكسيد المغنيزيوم يتميأ ببطء شديد في الماء البارد ، لكنه يتميأ بسرعة أكبر بكثير بدرجات الحرارة القريبة من درجة الغليان ، وأن إزالة السيليكا بالمغنسيا من الماء الحار ، فعالة أكثر بكثير من إزالتها من الماء البارد ، وأنه يجب استخدام زيادة المغنسيا ، و أن زيادتها اللازمة لكل جزء بالمليون من السيليكا المزالة هي أكبر بكثير في المديات الدنيا منها المديات الأعلى ، و أن الإزالة الفعالة للسيليكا، تحتاج إلى تماس متطاول ووثيق مع زيادة المغنسيا .

وبما أن عسرة المغنيزيوم في المياه الخام تترسب على شكل هيدروكسيد مغنيزيوم في المعالجة الساخنة بالجير صودا ، فإنها ستخفض محتوى السيليكا في الماء . أما المياه ذات المحتوى العالي من عسرة المغنيزيوم والتي تحتوي على كميات معتدلة فقط من السيليكا ، فيمكن أحياناً الحصول على خفض السيليكا إلى التفاوتات المرغوبة بدون إضافة أي مصدر آخر من المغنسيا . ولكن إذا أظهرت الحسابات أن إضافة المغنسيا لازمة ، فيمكن إنجاز ذلك بإضافة الجير الدولوميتي أو الجير الدولوميتي المميأ ، أو المغنسيا المنشطة . فإذا ما استخدم الجير الدولوميتي، أو الجير الدولوميتي المميأ ، فيجب أن يدخل في الحسابات حساب أكسيد أو هيدروكسيد الكلسيوم الموجود ، إضافة إلى محتوى المغنيزيوم . ومع المياه العالية العسرة التي تحتوي على كمية معتدلة من السيليكا يمكن أن تتألف جرعات المواد الكيميائية اللازمة من :

الجير + الجير الدلوميتي + رماد الصودا .

أما مع المياه ذات العسرة الخفيفة التي تحتوي على كمية كبيرة من السيليكا فتتألف المواد الكيميائية اللازمة من :

المغنسيا المنشطة + الجير الدلوميتي + رماد الصودا .

إذا توجب استخدام المغنسيا وحدها بدون الجير الدلوميتي ، عندئذٍ وفي أية حالة تكون فيه عسرة المغنيزيوم غير كافية لخفض محتوى السيليكا إلى التفاوتات المطلوب ، يمكن أن تكون المواد الكيميائية المستخدمة :

الجير المميأ (أو الجير الحي المطفأ) + المغنسيا المنشطة + رماد الصودا .

ملاحظة : قد يكون (الجير الدلوميتي) إما جير مميأ ($Ca(OH)_2 + MgO$) ، وتحليله النموذجي هو $Ca(OH)_2$ 62 % و MgO 32 % . أو جير دولوميتي حي ($CaO + MgO$) ، تحليله النموذجي CaO 58 % + MgO 40 % في الحالة الأخيرة يجب إطفاء الجير قبل التغذية به تتألف المغنسيا المنشطة التي تباع تحت أسماء تجارية بصورة رئيسية من MgO ، وتكون عادة على شكل مسحوق وتختلف كل أصنافها إلى حد كبير في الكثافة (وخصوصاً الوزن النوعي) .

باستخدام المنحنيات في الصورة 9 . 19 يمكن تقدير إجمالي كمية المغنسيا التي يعبر عنها بأجزاء بالمليون من $CaCO_3$ الضرورية لخفض محتوى السيليكا إلى التفاوتات المطلوبة ومن هذا الرقم تطرح عسرة المغنيزيوم في الماء . والباقي يعطي كمية المغنيزيوم ، معبراً عنها كأجزاء بالمليون من $CaCO_3$ ، التي يجب إضافتها (أدنى مجموعة من الأرقام) ، هي الكميات المماثلة المعبر عنها كـ MgO) .

هناك عامل أمان في الأرقام المتحصلة من هذه المنحنيات عند إزالة السيليكا في ميسر المعالجة الساخنة من نموذج الدثار العكر . لذلك وفي التطبيق العملي ، ستكون كميات المغنسيا اللازمة في هذا النمط من المعدات ، أقل إلى حد ما من الأرقام المحسوبة فمثلاً مع المياه التي تحتوي على كمية كبيرة جداً من السيليكا ، تصل إلى 55 ppm و40 ppm من عسرة المغنيزيوم ، كانت الكمية المحسوبة من المغنسيا الإضافية لإحداث النقص المطلوب ، 145 ppm معبراً عنها كـ $CaCO_3$ رغم أنه اكتشف في التطبيق العملي أن المغنسيا الإضافية اللازمة كانت 124 ppm.

ملاحظة :

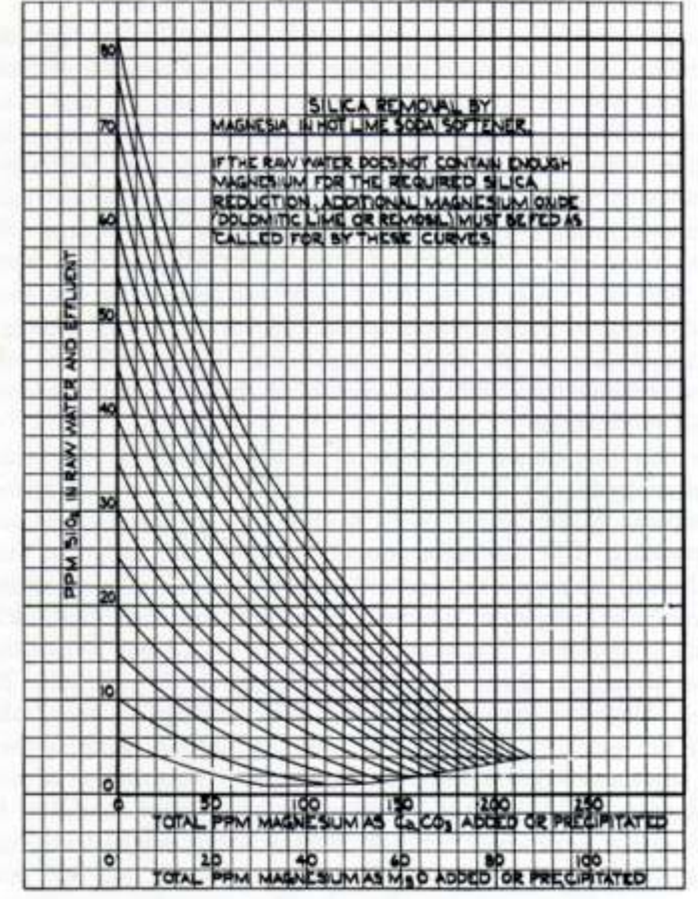
لتحويل الأجزاء بالمليون إلى ليبرات في 1000 جالوناً نضرب بـ 0.00834 ولتحويل $CaCO_3$ إلى MgO ، نضرب بـ 0.403 ، ولتحويل $CaCO_3$ إلى $Mg(OH)_2$ ، نضرب بـ 0.583 .

المعالجة الساخنة بالجير صودا والفوسفات ذات المرحلتين :

The Two - Stage Hot Lime - Soda and Phosphate Process

يمكن إنجاز المرحلة الثانية من هذه المعالجة في حجرة مكملة في خزان ترويق الجير صودا ، أو في خزان ترويق منفصل ، كما نرى في الصورة 10 . 19 ، التي فيها يمارس مبدأ الدثار العكر للتشغيل في كلا خزاني الترويق تغذى المياه الخام المسخنة في خزان الترويق الأول .

الصورة 9 . 19



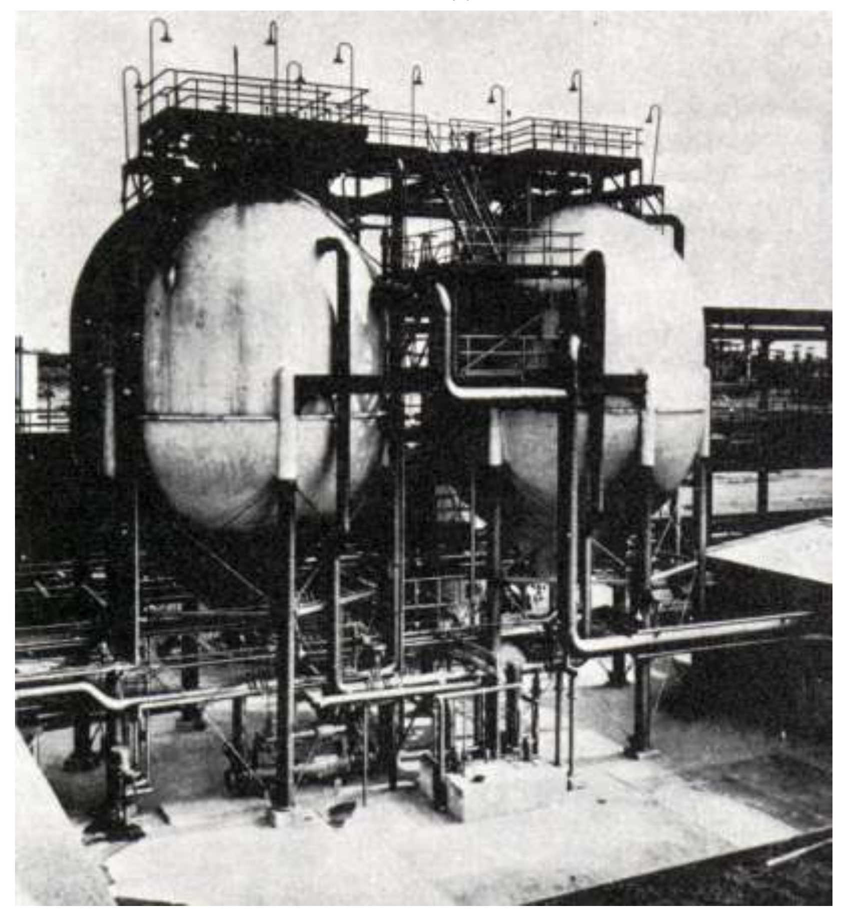
ثانياً يجري الماء المروق والمرشح صعوداً من المجمِّع عبر خط خروج الماء المروّق إلى أنبوب قصير للتصريف السفلي في خزان ترويق الفوسفات تتم التغذية بمحلول الفوسفات بواسطة خط تغذية الفوسفات إلى أنبوب التصريف السفلي نفسه ، حيث يتفاعل مع العسرة الثمالية لتشكيل رواسب فوسفات الكلسيوم والمغنيزيوم .

وعندئذٍ يرشح الماء المعالج بالفوسفات صعوداً عبر دثار معلق من رواسب تشكلت سابقاً ، وعند خروجه من سطح الدثار العكر ، يرتفع إلى المجمِّع في أعلى خزان الترويق . اكتشف في التطبيق العملي أن هذا الترشيح الصاعد يخفض كثيراً

العكارة في الصبيب وبالتالي يخفف الحمل على المرشحات ويطيل كثيراً آماد الأشواط .



الصورة 10 . 19



الترشيح بين عمليات الغسل الراجع . يمكن إنجاز إزالة العكارة من مركزِّ العكارة يدوياً أو آلياً في غسل المرشحات رجوعياً يستخدم الماء المروّق من خزان ترويق الفوسفات الذي يزود لكل وحدة ترشيح ، أثناء فترة الغسل بواسطة مضخة الغسل الراجع وبعدئذٍ يعود ماء الغسل إلى خزان ترويق الفوسفات لترويقه وإعادة استخدامه

مغذيات الفوسفات : Phosphate Feeders

بما أن مختلف أنواع فوسفات الصوديوم سواء كانت أحادية أو ثنائية أو ثلاثية أو متعددة ، ذوابة تماماً فهي تلقم على شكل محاليل صرفة ، بحيث لا تحتاج إلى تحريك متواصل ، كما في حالة مغذي الجير صودا ، ولا يحتاج المغذي إلى تزويده بمحراك آلي . وحيث أن الفوسفات هي التي تتم التغذية بها في المعالجة السابقة بالجير . صودا. والفوسفات ذات المرحلتين ، فإن هذه النماذج كالمغذي الكهربائي الكيميائي أو المغذي الكيميائي بالضخ الترددي يمكن أن يستخدم (انظر الفصل 12) . وحيثما لا تستخدم المعالجة الحارة بالجير . صودا والفوسفات ذات المرحلتين بل المرحلة الأولى فقط بتغذية الفوسفات إلى المراجل ، فإن التغذية بالفوسفات لخط مياه تغذية المراجل تمثل خطر تشكل رواسب الانسداد في الخط ، ويمكن التغلب على ذلك عن طريق التغذية بعديد الفوسفات على شكل كريات أو رشات هزيلة . إذا جرت التغذية بالفوسفات مباشرة إلى أسطوانات المرجل ، يمكن تفادي هذا الخطر ، ونموذج المغذي المناسب تماماً لهذا الغرض ، هو نموذج المضخة الترددية ، لأنها تقيس وتضخ المادة الكيميائية إلى اسطوانة المرجل .

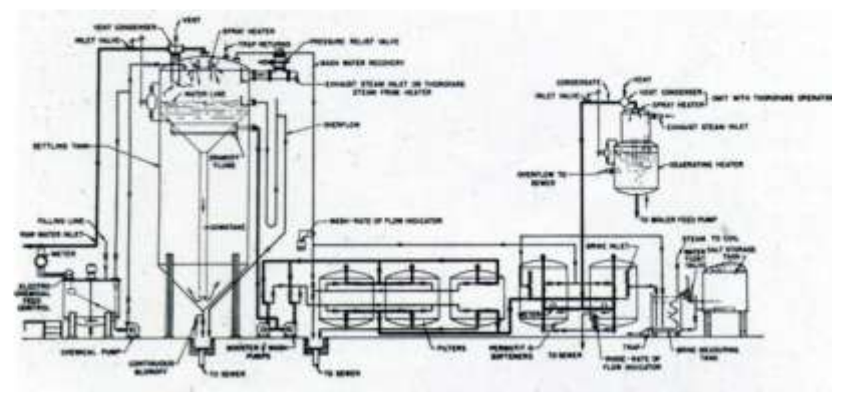
المعالجة بالجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين

Two -Stage Hot Lime & Sodium Cation Exchange Process

لا يمكن استخدام الزيوليتات السيلكونية القديمة بالاقتران مع المعالجة بالجير الساخن . صودا ، لكن مع ظهور مبادلات الكاتيونات العالية القدرة من نموذج الراتينات ، برزت إلى الوجود المعالجة بالجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين . وبسبب عدد من الفوائد ، تستخدم هذه الطريقة اليوم على نطاق واسع . ومن تلك الفوائد خفض إجمالي الجوامد ، وخفض القلوية ، وكذلك تكاليف التشغيل . ويأتي استخدامها لتيسير مياه تغذية المراجل ، التي كانت تيسر سابقاً بالمعالجة بالجير الساخن . صودا والفوسفات ذات المرحلتين .

الصورة 11 . 19 :

رسم لمصنع لتيسير الماء النموذجي بالجير الساخن ومبادل كاتيونات الصوديوم على مرحلتين ، ويتألف من خزان ترويق للمعالجة الساخنة من نموذج الدثار العكر ، وثلاث وحدات ترشيح بالأنثراسيت ، ووحدتين لمبادل كاتيونات الصوديوم ، ومسخن منفصل لنزع الهواء ،



وفيما يتعلق بتكاليف التشغيل :

(1) هذه الطريقة أقل كلفة لإزالة عسرة اللاكربونات بالمعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم من استخدام رماد الصودا في المعالجة بالجير الساخن صودا

(2) وهي أقل كلفة لإزالة عسرة الكربونات الثمالية بالمعالجة بتبادل كاتيونات الصوديوم من استخدام الفوسفات للترسيب .

وبقدر ما يتعلق الأمر بنوعية الصبيب ، فإن المعالجة بالجير الساخن وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، والمعالجة بالجير الساخن . صودا والفوسفات تيسران كلاهما المياه العسرة عملياً إلى عسرة الصفر (1 - 2 ppm) لكن الطريقة الأولى ستنتج صبيباً يحمل محتوى أقل من الجوامد .

في المرحلة الأولى من المعالجة بالجير الحار وتبادل كاتيونات الصوديوم ذات المرحلتين ، يسخن الماء ويعالج بالجير المميأ (مع أو بدون جير دولوميتي أو أي مصدر آخر من المغنسيا قد يكون لازماً) ، تخفض هذه المعالجة عسرة البيكربونات إلى أقل من 25 ppm (1.5غ / جالون) ، وتخفض محتوى السيليكا ، لكنها لا تخفض عسرة اللاكربونات . يزيل المسخن الأولي محتوى ثاني أكسيد

الكربون الطليق ، وتخفف محتوى الأكسجين المنحل ، عند وجوده إلى حوالي 0.1 . 0.3 مل / ل ويمكن إجراء نزع إضافي للهواء إلى 0.005 مل / ل ، أو أقل إما (1) بنازع هواء مكمل في خزان الترويق أو (2) بنازع هواء منفصل بعد وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم .

عند استخدام وحدة منفصلة لنزع الهواء ، يمكن إدارتها كوحدة منفصلة تماماً ، أو يمكن تشغيلها (شبكة سالكة) بالاقتران مع المسخن الأولي لخزان الترويق بالمعالجة الساخنة ، وفي هذه الحالة يدفع كامل البخار اللازم أولاً عبر الماء الميسر تماماً من وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم ، وبعدئذٍ يمر كما في الصورة 11 . 19 إلى المسخن الأولي ، وتعمل وحدة نازع الهواء بصورة مستقلة .

وبعدئذٍ يرشح الصبيب المروّق من المرحلة الأولى لمعالجة تيسير الماء بواسطة مرشحات أنثرافليت من النموذج الضغطي ، حيث تزيل الآثار الضئيلة من العكارة التي كانت أزيلت في خزان ترويق المعالجة الساخنة . عندما مايشير نقص الضغط في وحدة الترشيح إلى ضرورة الغسل الراجع ، يتم توقيف الوحدة عن العمل ، وتغسل رجوعياً ، ثم تعاد إلى الخدمة . يستعاد كامل مياه الغسل الراجع ، عن طريق إعادته إلى خزان الترويق ، لترويقه وإعادة استخدامه .

وعندئذٍ يعبر الصبيب من وحدات الترشيح الوحدات الضغطية لمبادل كاتيونات الصوديوم ، التي تزيل عسرة اللاكربونات وعسرة الكربونات الثمالية منتجة صبيباً بعسرة صفر عملياً (ppm 2 - 1) . تشغل وحدات مبادل كاتيونات الصوديوم على أساس الزمن المتداخل ، بحيث تجد وحدة فقط في كل مرة وأثناء الغسل الراجع للوحدة بفترة تجديد ، يعاد كامل ماء الغسل إلى خزان ترويق المعالجة الساخنة وعندئذٍ تملح الوحدة بحجم محدد من محلول ملحي ، وتشطف ، وتعاد إلى الخدمة . المحلول الملحي ، وماء الشطف المستخدمان غير ملائمين للاستخدام من جديد ، ولذلك يهدران .

TABLE 19-1. HOT WATER SOFTENING PROCESSES: CHEMICAL REACTIONS

(1) ***Calcium Alkalinity with Hydrated Lime***

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(2) ***Magnesium Alkalinity with Hydrated Lime***

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$$

(3) ***Calcium Noncarbonate Hardness with Soda Ash***

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$
$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$$

(4) ***Magnesium Noncarbonate Hardness with Soda Ash and Hydrated Lime***

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2SO_4$$
$$MgCl_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + 2NaCl$$

(5) ***Sodium Carbonate and Sodium Mono-, Di- and Meta-Phosphates***

$$Na_2CO_3 + NaH_2PO_4 \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O + CO_2$$
$$Na_2CO_3 + 2Na_2HPO_4 \rightarrow 2Na_3PO_4 + H_2O + CO_2$$
$$Na_2CO_3 + NaPO_3 \rightarrow Na_3PO_4 + CO_2$$

(6) ***Carbonates and Phosphoric Acid***

$$3CaCO_3 + 2H_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2O + 3CO_2$$
$$3MgCO_3 + 2H_3PO_4 \rightarrow Mg_3(PO_4)_2 + 3H_2O + 3CO_2$$
$$3Na_2CO_3 + 2H_3PO_4 \rightarrow 2Na_3PO_4 + 3H_2O + 3CO_2$$

(7) ***Carbonates and Tri-Sodium Phosphates***

$$3CaCO_3 + 2Na_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 3Na_2CO_3$$
$$3MgCO_3 + 2Na_3PO_4 \rightarrow Mg_3(PO_4)_2 + 3Na_2CO_3$$

(8) *Carbonate Hardness Residuals and Sodium Cation Exchanger*

$$\left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix}CO_3\\ or\\ (OH)_2\end{matrix}\right. + 2NaR \rightarrow \left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} R_2 + Na_2 \left\{\begin{matrix}CO_3\\ or\\ (OH)_2\end{matrix}\right.$$

(9) *Noncarbonate Hardness and Sodium Cation Exchanger*

$$\left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix}SO_4\\ or\\ Cl_2\end{matrix}\right. + 2NaR \rightarrow \left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} R_2 + Na_2 \left\{\begin{matrix}SO_4\\ or\\ Cl_2\end{matrix}\right.$$

(10) *Regeneration of Exhausted Cation Exchanger with Sodium Chloride*

$$\left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} R_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaR + \left.\begin{matrix}Ca\\ or\\ Mg\end{matrix}\right\} Cl_2$$